

Retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plan d'eau à l'échelle du territoire Bretagne, Pays de la Loire



Rapport final

**Gérard JEANNEAU & Mikaël LE BIHAN
(Agence Française pour la Biodiversité)**

Août 2018

- **AUTEURS**

GERARD JEANNEAU (SERVICE DÉPARTEMENTAL DU MORBIHAN) & MIKAËL LE BIHAN (DIRECTION INTERREGIONALE BRETAGNE, PAYS DE LA LOIRE)

MAIL : mikael.le_bihan@afbiodiversite.fr

TEL : 02-23-45-06-06

- **CONTRIBUTEURS**

Agence Française de la Biodiversité : Hélène ANQUETIL, Laura BECHTEL, Philippe BOSSARD, Michel BRAMARD, Fabrice GOUBIN, Olivier LEDOUBLE, Bruno LE ROUX, Denis ROBERT, Morgane THIEUX-LAVAUUR, Philippe VACHET, Thibault VIGNERON.

Agence de l'Eau Loire Bretagne : Hubert CATROUX

SAGE Blavet : Ronan CAIGNEC

Syndicat de la vallée du Blavet : Yves MERLE

- **REMERCIEMENTS**

De nombreuses personnes ont contribué à l'accomplissement de cette étude et nous tenons à les remercier pour l'aide apportée.

Notre première attention se porte à nos collègues en services départementaux : Yann TRACZ (SD35), Fabrice GOUBIN (SD53) et tous les collègues du SD56 (Dominique BOUSSION, Vincent FROMAGET, Pierre MANZI, Guy MILOUX, Yves PICARD et Philippe ROYNARD). Un grand merci également à Charlotte LE POTIER, en apprentissage en 2015-2016 à la direction interrégionale Bretagne - Pays de la Loire et qui a contribué pleinement à la réalisation de cette étude. Et un grand merci à tous les relecteurs et contributeurs.

- **MOTS CLES :**

Cours d'eau ; barrage ; étang ; restauration hydromorphologique ; arasement total ; vidange.

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : régional

Couverture géographique : Bretagne, Pays de la Loire

Niveau de lecture : professionnels, experts

- **SYNTHÈSE POUR L'ACTION OPÉRATIONNELLE**

Sur l'ensemble du territoire national, une multitude de plans d'eau perturbent le fonctionnement naturel des cours d'eau et notamment en tête de bassin versant. Leur impact sur le fonctionnement écologique des cours d'eau varie en fonction de leur type, de leur gestion et de la sensibilité du milieu récepteur. Dans l'objectif d'atteinte du bon état des eaux en 2015 fixé par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000, plusieurs structures ont commencé à s'intéresser aux suppressions totales de certains plans d'eau (également appelées dérèglement). Les principaux objectifs sont d'améliorer la continuité écologique et de restaurer le fonctionnement écologique des cours d'eau et des zones humides. Dans le Morbihan, plus de 25 suppressions de plans d'eau ont été réalisées au cours de la dernière décennie. C'est ce constat qui a conduit l'Agence Française pour la Biodiversité à réaliser une étude sur ce type d'aménagement à l'échelle du territoire Bretagne - Pays de la Loire. Cette démarche a permis de recenser 40 suppressions de plans d'eau ; en excluant de cette étude les grands barrages.

Ce rapport a pour objectif de réaliser un retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plan d'eau et d'engager une réflexion sur les recommandations techniques permettant de renforcer la connaissance sur ce type d'aménagements. Il a vocation à servir de guide à la réalisation d'opérations de suppression de plan d'eau. Ce document sera actualisé suivant l'évolution des connaissances et des projets en cours de réalisation sur notre territoire.

- **CITATION**

JEANNEAU & LE BIHAN, 2018. Retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plans d'eau à l'échelle du territoire Bretagne, Pays de la Loire. Rapport de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire, 32 pages.

Sommaire

Introduction.....	1
A. Synthèse des connaissances sur les suppressions de plan d'eau	2
I. Définition.....	2
II. Impacts des plans d'eau	3
III. Eléments de connaissance hydromorphologique sur les effets de suppressions de plans d'eau	7
IV. Démarche administrative et réglementaire (au 1/08/2018).....	11
B. Matériels et méthodes.....	16
I. Localisation des plans d'eau étudiés.....	16
II. Méthode d'évaluation des opérations de suppressions de plans d'eau.....	17
C. Analyse des résultats.....	17
I. Caractéristiques des opérations de suppressions.....	17
II. Modalités techniques de la phase travaux	20
III. Gestion du milieu post-suppression.....	24
IV. Communication et Suivi écologique	25
V. Bénéfice.....	25
VI. Coût financier	26
D. Recommandations techniques lors de la suppression d'un plan d'eau	28
I. Diagnostic	28
II. Phase travaux	30
III. Suivi	35
Conclusion	36

Liste des Figures

Figure 1 : Types de plans d'eau en fonction de leurs implantations par rapport aux cours d'eau.....	2
Figure 2 : Schéma de principe de la suppression partielle (A) ou totale (B).....	2
Figure 3 : Schéma des principaux impacts écologiques des plans d'eau en barrage	6
Figure 4 : Modèle longitudinal de dépôt sédimentaire dans une retenue (adapté de Morris <i>et al.</i> , 2010).....	7
Figure 5 : Schéma d'un moine hydraulique (Durllet P. coord., 2009).....	8
Figure 6 : Temps de décantation des particules argileuses à sableuses, en fonction de leur taille.....	9
Figure 7 : Les différentes étapes d'ajustement dans le remous solide	10
Figure 8 : Localisation des opérations de suppressions de plan d'eau (au 1 Octobre 2016) ..	16
Figure 9 : Rangs de Strahler des cours d'eau étudiés	17
Figure 10 : Typologie des plans d'eau supprimés	18
Figure 11 : Superficie des plans d'eau recensés	18
Figure 12 : Evolution des suppressions de plans d'eau par année	20
Figure 13 : Plan d'eau avec apport excessif de matériaux (après suppression)	21
Figure 14 : Plan d'eau avec cuvette sur creusée sans apport de matériaux.....	21
Figure 15 : Maintien d'un niveau d'eau important malgré la suppression de plan d'eau,.....	22
Figure 16 : Cours d'eau présentant des érosions régressives importantes.....	22
Figure 17 : Brèche obstruée par une buse installée de manière intentionnelle	23
Figure 18 : Vitesse de reprise de la végétation	24
Figure 19 : Communication sur la suppression d'un plan d'eau.....	25
Figure 20 : Rôle d'un cours d'eau restauré dans la régulation des crues	25
Figure 21 : Retour d'une activité agricole extensive au droit du plan d'eau	26
Figure 22 : a) absence de modification du fond de vallée ; b) approfondissement et élargissement du fond de vallée	29
Figure 23 : Protection des exutoires avec tapis de granulats (Mac Donald <i>et al.</i> , 2018)	31
Figure 24 : Rectification ancienne sur le ruisseau de Landordu (Photo d'avril 2012, CTMA SCORFF)	33
Figure 25 : Succession radier - mouille (© BIOTOPE pour AFB).....	34
Figure 26 : Ouvrage sans assise dans le fond du cours d'eau (CETE & ONEMA, 2013)	34

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Synthèse des incidences des plans d'eau sur les cours d'eau	3
Tableau 2 : Nomenclature eau et rubriques concernant les plans d'eau (version résumée au 1 Août 2018).....	12
Tableau 3 : Illustration des coûts d'une suppression de plan d'eau.....	27

Table des abréviations

AFB	Agence Française pour la Biodiversité
ARS	Agence Régionale de la Santé
CARHYCE	CARactérisation de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau
CE	Code de l'Environnement
DCE	Directive Cadre européenne sur l'Eau
MES	Matière En Suspension
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
PAOT	Plan d'Action Opérationnel Territorialisé
ROE	Référentiel des Obstacles à l'Écoulement
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SANDRE	Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Glossaire

Barrage : Un barrage est un ouvrage qui barre plus que le lit mineur d'un cours d'eau permanent ou intermittent ou un thalweg (SANDRE, 2018).

Continuité écologique : La continuité écologique est définie comme la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques (connexions latérales et conditions hydrologiques favorables) (cf. Article R.214-109 du Code de l'environnement).

Cuvette : Dépression, naturelle ou creusée par l'homme, réceptionnant les eaux.

Débit minimal biologique : « Débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux » (cf. Article L.214-18 du Code de l'Environnement).

Dérasement : Suppression totale de la hauteur de chute d'un ouvrage.

Erosion régressive : L'érosion régressive est un phénomène de dynamique fluviale ou hydraulique consistant en une érosion d'un substrat, d'un relief ou d'un ouvrage artificiel qui se propage de l'aval vers l'amont, c'est-à-dire dans le sens inverse de l'écoulement de l'eau.

Eutrophisation anthropique : désigne le syndrome (ensemble de symptômes) d'un écosystème aquatique associé à la surproduction de matières organiques (hypertrophie) induite par des apports

anthropiques en phosphore (P) et en azote (N) sur une échelle de temps humaine (quelques années ou décennies). Autrement dit, l'eutrophisation est un déséquilibre de fonctionnement des écosystèmes aquatiques déclenché par un changement des apports de P et N, en quantité, en proportions relatives ou en forme (Pinay *et al.*, 2017).

Lotique : Relatif aux eaux courantes.

Moine : Ouvrage de gestion (trois rangées de planches superposées) qui permet une circulation de l'eau du fond vers la surface.

Prescription : La prescription est un principe général de droit qui désigne la durée au-delà de laquelle une action en justice, civile ou pénale, n'est plus recevable. Elle dépend de la nature précise du IOTA (Installations, Ouvrages, Travaux et Activités) et de la nature de l'infraction (continue, instantanée) (Goron, 2012).

Rouissage : Processus au cours duquel des tiges de plantes (exemple : lin) sont immergées dans de l'eau afin d'extraire les fibres végétales.

Senne : Filet servant à capturer les poissons.

Thermocline : Zone de transition entre deux masses d'eau de températures différentes et se mélangeant difficilement (Eau France, 2018).

Introduction

La qualité de l'eau et l'état des milieux aquatiques se sont progressivement dégradés avec l'industrialisation, le développement de l'agriculture intensive et la pression anthropique croissante de diverses activités humaines (Reyjol *et al.*, 2012). Les cours d'eau sont de plus en plus touchés par de multiples facteurs qui conduisent à une disparition des espèces sensibles et une réduction globale de la biodiversité.

La prise de conscience de la valeur des écosystèmes lotiques* a accru l'intérêt de la société dans la restauration des cours d'eau, généralement définie par des projets qui visent à améliorer la qualité des eaux ou à augmenter la biodiversité par le biais de travaux sur l'hydromorphologie et une diversification des habitats (Bernhardt *et al.*, 2005 ; Palmer *et al.*, 2010 ; in Arango *et al.*, 2015). La restauration des cours d'eau reçoit une attention croissante dans de nombreuses parties du monde, comme en témoigne l'augmentation du nombre de projets, le soutien financier accru et l'abondance des publications scientifiques (Palmer *et al.*, 2007 ; in Jahnig *et al.*, 2010). La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) de 2000, en fixant l'objectif d'atteindre le « bon état écologique », a confirmé la nécessité de s'investir dans la restauration des cours d'eau.

En France, plus de 80 000 obstacles à l'écoulement ont été recensés sur les cours d'eau français (ROE, 2017). Ces ouvrages selon leurs natures sont susceptibles de constituer des obstacles à la continuité écologique et d'altérer le fonctionnement des milieux aquatiques par la transformation hydromorphologique engendrée. Le grand nombre de plans d'eau observés, en tête de bassin versant notamment, est susceptible d'altérer durablement le fonctionnement écologique de ces écosystèmes sensibles. Par conséquent, les opérations de suppression de plan d'eau visent à restaurer le fonctionnement écologique du cours d'eau et de ses zones humides ainsi qu'à retrouver un lit majeur d'inondation.

En 2014, la délégation interrégionale Bretagne Pays de la Loire de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a constaté une augmentation des projets de suppression totale ou partielle de plans d'eau à l'échelle de son territoire. Après une rapide investigation, le département du Morbihan a été identifié comme le précurseur pour la réalisation de ces projets dans le cadre d'une démarche de régularisation portée par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM56) et le SAGE Blavet. Parallèlement à ce constat, nous n'avons pas identifié de document spécifique précisant les modalités techniques les mieux adaptées pour la suppression de ces ouvrages en fonction notamment du type de plans d'eau ou de cours d'eau. L'ONEMA, devenu Agence Française pour la Biodiversité le 1^{er} janvier 2017, a donc initié une étude en 2014 sur 40 suppressions de plans d'eau (en excluant les grands barrages), localisés sur les différents départements de la direction Bretagne - Pays de la Loire.

L'objectif de cette étude est de réaliser un premier retour d'expériences sur les opérations de suppression de plans d'eau. Cela doit également permettre de partager les préconisations techniques adaptées de mise en œuvre de ces projets afin de mieux accompagner les maîtres d'ouvrage.

A. Synthèse des connaissances sur les suppressions de plan d'eau

I. Définition

Les plans d'eau désignent une étendue d'eau douce continentale de surface libre, stagnante, d'origine naturelle ou anthropique et de profondeur variable (SANDRE, 2014). Le terme plan d'eau recouvre un certain nombre de situations communément appelées ballastière, bief (de moulin, de canal)¹, carrière, douve, étang, gravière, lac, lagune, mare, réservoir, retenue (collinaire, d'irrigation).

Parmi les plans d'eau, les étangs se distinguent des mares par leur plus grande superficie, supérieure à 5000 m² pour Oertli (2013) et supérieure à 1000 m² pour le Pôle Relais Zones Humides intérieures (PRZH, 2008) (in Gaillard, 2016). Ils se distinguent des lacs par l'absence de thermocline (profondeur moindre).

En fonction de leur implantation, les plans d'eau peuvent être en barrage, en dérivation du cours d'eau, sur source / sur nappe ou alimentés exclusivement par des eaux de ruissellement (cf. figure 1).

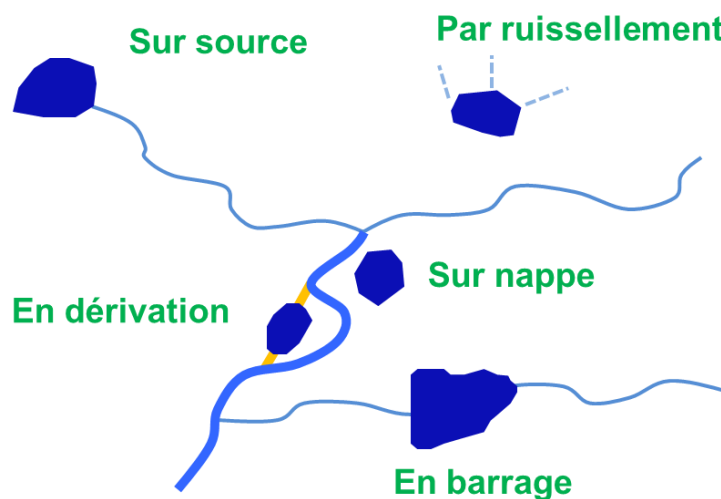


Figure 1 : Types de plans d'eau en fonction de leurs implantations par rapport aux cours d'eau

La suppression d'un plan d'eau correspond à la réduction partielle ou totale d'un ouvrage et de la hauteur de chute qu'il génère (cf. figure 2). La suppression totale est également désignée sous le terme de « dérèglement ».

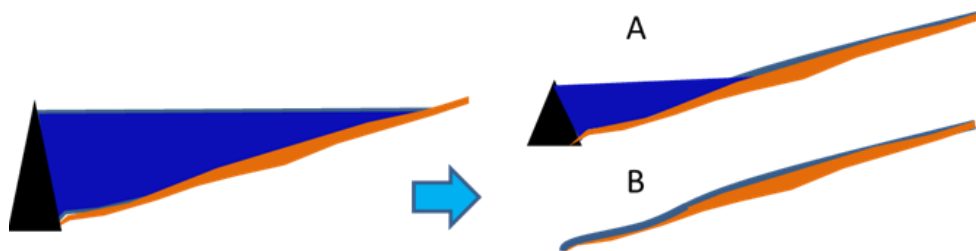


Figure 2 : Schéma de principe de la suppression partielle (A) ou totale (B)

¹ De nombreux biefs sont considérés comme des cours d'eau au titre de la police de l'eau (cf. instruction du 03/06/2016).

II. Impacts des plans d'eau

Les premières créations de plans d'eau datent de l'antiquité (Adam *et al.*, 2007). A cette époque, les plans d'eau étaient destinés à répondre à différents usages : pisciculture, production d'énergie, flottage du bois, défense stratégique (douve de châteaux), chasse, rouissage.

Au cours des dernières décennies, une augmentation rapide du nombre de plans d'eau a été observée et notamment au cours des années 1960-1980 pour répondre surtout à des activités de loisirs, mais aussi d'irrigation (Boutet-berry, 2000).

La nature et l'importance des impacts générés par les plans d'eau sur les écosystèmes aquatiques dépendent de plusieurs facteurs tels que l'implantation par rapport au cours d'eau (en barrage, en dérivation, sur source), la surface d'eau libre (Durlet P. coord., 2009) ou encore la gestion (Boutet-Berry, 2000).

La multiplication des plans d'eau sur un même bassin versant constitue un impact cumulé majeur. Par exemple sur le bassin versant du Blavet, 860 plans d'eau de plus de 1000 m² ont été répertoriés en 2004 avec une superficie moyenne de 1,3 ha (SAGE BLAVET, 2004). Sur le département de la Mayenne, environ 16000 plans d'eau ont été dénombrés, dont 6500 de plus de 1000 m². Parmi ces derniers, 2250 sont situés en barrage, 1650 en dérivation et 2600 sont déconnectés. Le statut légal n'est connu que pour 1850 de ces plans d'eau (PAOT MISEN 53). Sur le bassin de la Sarthe, plus de 17 000 plans d'eau ont été recensés de (10 m² à 33ha). Dans le Limousin, une étude révèle l'existence de plus de 13 000 plans d'eau présentant une surface supérieure à 1000 m² (Etablissement public du bassin de la Vienne, 2010).

Contrairement aux lacs ou aux grands plans d'eau, les petits plans d'eau ont fait l'objet de peu de recherches scientifiques (Banas *et al.*, 2016). L'amélioration des connaissances sur le fonctionnement des milieux aquatiques continentaux a permis de mettre en évidence les problématiques générées par la présence des plans d'eau (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Synthèse des incidences des plans d'eau sur les cours d'eau

Compartment touché	Type d'incidences, exemples avec références bibliographique associées
Hydrologique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ rupture d'écoulement de petits cours d'eau en période d'étiage ou lors du remplissage du plan d'eau ✓ perte d'eau à l'aval par évaporation (impact direct sur le cours d'eau), <i>ex : de 0,82 à 4,3 mm.j⁻¹ en fonction des régions et des saisons (in Banas, 2001)</i> <i>ex : 0,25 à 1,8 litre/ha en période de canicule (Boutet-Berry, 2000)</i> <i>ex : estimée à 7.000 m³ d'eau par hectare d'étang et par an (Boutet-Berry, 2000)</i> ✓ perte de débit par fuite / infiltration <i>ex : 5 à 6 mm.j⁻¹ (Boyd & Gross, 1998)</i> ✓ destruction de zones humides par ennoïement ✓ modifications des fonctionnalités hydrologiques des zones humides à l'amont et en aval (Le Bihan, 2012) ✓ perte de zones inondables en lit majeur
Hydromorphologique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ rupture de la continuité sédimentaire (Kondolf, 1997) <i>ex : 10 à 40 tonnes/km² de bassin versant selon les régions de plaine et de moyenne montagne en France (Durlet P. coord., 2009)</i>

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ stockage de sédiments fins au sein du plan d'eau <i>ex : plus d'1 mètre de vase dans le lac de Guerlédan</i> ✓ modification du substrat in situ et en aval (Durllet P. coord., 2009) ✓ relargage important de sédiments fins lors des vidanges ✓ élargissement et approfondissement du lit mineur
<p>Qualité physico-chimique</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ modification du régime thermique ✓ augmentation de la température en période estivale <i>ex : - réchauffement de 2 à 4°C en moyenne estivale (Touchart & Bartout, 2011)</i> <i>- réchauffement maximal de 10°C en période estivale (valeurs instantanées) (Boutet-Berry, 2000 ; Durllet P. coord., 2009)</i> ✓ refroidissement en période hivernale <i>ex : - 1 à 2°C (Boutet-Berry, 2000)</i> ✓ eutrophisation anthropique (cyanobactéries - phosphore) ✓ rétention de micropolluants (ex : produits phytosanitaires) (Gaillard <i>et al.</i>, 2016) ✓ perte des capacités auto-épuratoires du cours d'eau (Oraison <i>et al.</i>, 2011) ainsi que des zones humides impactées ✓ pollution par les Matières En Suspension (MES) lors des vidanges <i>ex : 2600 kg ha⁻¹ (Schwarz & Boyd, 1994)</i> <i>ex : 630- 2830 kg ha⁻¹ (Banas, 2002)</i>
<p>Biologique</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ destruction de zones humides, dans certains cas de tourbières ✓ modification de la faune et de la flore en aval (Le Louarn & Bertru, 1991) ✓ modification des peuplements piscicoles (peuplements lotiques vers peuplements lenthiques) (Durllet P. coord., 2009 ; Conseil Scientifique AFB, 2018) <i>ex : modification des peuplements piscicoles, impact à 1 km à l'aval de plans d'eau en barrage (Vigneron, 1999) (cf. Annexe A sur les cours d'eau salmonicoles)</i> ✓ rupture de la continuité biologique ✓ introduction d'espèces non représentés dans la rivière (ex : brochet, perche, sandre et poissons blancs sur cours d'eau de première catégorie piscicole) ✓ conditions de vie peu propices aux espèces naturellement présentes en tête de bassin versant (Gigleux, 1992) ✓ prolifération d'espèces invasives et / ou envahissantes animales (ex : écrevisse de louisiane, perche soleil...) ou végétales (jussie, myriophylle du Brésil...) ✓ dans certains cas, conditions propices aux développements de certaines espèces patrimoniales ✓ modifications de l'avifaune ✓ développement de cyanobactéries <i>ex : En Bretagne, en 2016, deux-tiers des sites de baignade en eau douce contrôlés ont connu au moins un épisode de prolifération algale importante, nécessitant une interdiction ou restriction temporaire des usages pratiqués (baignade, activités, nautiques, consommation de poissons de pêche) (ARS, 2017)</i> ✓ vecteurs potentiels par les poissons ou crustacés d'agents pathogènes (ex : bucéphalose larvaire, peste de l'écrevisse ...) ✓ mortalités massives de la faune en périodes de bloom algal sur le plan d'eau et aussi en aval

Usages	<ul style="list-style-type: none"> ✓ manque de connaissance et de communication sur les modalités de gestion ✓ coût important de l'entretien ✓ abandon de stations d'eau potable exemple : sur le Morbihan (ex : Pont Sal supprimé en 2017), en lien avec la dégradation de la qualité des eaux en amont ✓ interdiction des loisirs sur le plan d'eau impacté (pêche, planche à voile, baignade, etc..) ✓ risque de noyade
--------	---

En principe, durant son cycle de gestion, l'étang a plutôt tendance à retenir les contaminants (Banas *et al.*, 2016). Le plan d'eau par le ralentissement de la dynamique des eaux favorise en effet la sédimentation des particules (effet lagunage). L'augmentation des temps et des surfaces de contact de l'eau avec les autres matrices (c-à-d. sédiments, air, végétaux) est favorable à l'assimilation des éléments nutritifs (production de biomasse), à leur rétention (ex. stockage dans les sédiments) ou à leur transformation (ex : volatilisation de l'azote).

Les débits chargés en nutriments au printemps, en comparaison avec des cours d'eau naturels, peuvent augmenter toutefois la production primaire des cours d'eau en aval (Banas, 2002). Certains auteurs considèrent ainsi les étangs comme une source d'éléments nutritifs eutrophisant les rivières en aval (Gigleux, 1992).

Cependant, les problèmes de qualité d'eau en amont des plans d'eau provoquent un enrichissement excessif du milieu en éléments nutritifs (phénomène d'eutrophisation). L'augmentation des apports de nutriments entraîne en effet une augmentation de la biomasse végétale qui réduit la pénétration dans la colonne d'eau de la lumière qui devient le facteur limitant. Cette biomasse est constituée d'espèces végétales opportunistes adaptées aux nouvelles conditions. La décomposition de la biomasse morte par les bactéries induit un appauvrissement en O₂ (hypoxie ou même anoxie) et à la suite de décomposition anaérobie, l'émission de gaz toxiques (CH₄ et H₂S). Certaines espèces proliférantes peuvent être toxiques : en milieu dulçaquicole, des cyanophycées des genres *Microcystis*, *Planktothrix*, *Dolichospermum* ou *Aphanizomenon*. La nature et l'intensité des réponses dépendent du temps de résidence de l'eau, de la température et de la quantité de lumière disponible. Les effets de l'eutrophisation excessive se traduisent au niveau des individus (physiologie et biochimie, morphologie, comportement, mort), des populations (prolifération, chute démographique, mortalité massive, régression des nurseries,..), et des communautés (changement de composition perturbation des chaînes trophiques, perte de biodiversité...) (Pinay *et al.*, 2017).

Pour résumer, les symptômes de l'eutrophisation excessive se caractérisent par une efflorescence algale (ou « bloom »), un développement accéléré des végétaux supérieurs (macrophytes) et une prolifération de cyanobactéries à l'origine d'une dégradation globale de la qualité des eaux (Directive 91/271/CEE ; Taoufik & Dafir, 2002, Billen *et al.*, 2009)

Les effets précédemment décrits engendrent également des atteintes sur l'économie (conchyliculture, pêche, eau potable, tourisme), les services publics (pollutions et eau potable), les activités récréatives (randonnée, chasse, pêche...) ainsi que la santé humaine (risque d'asphyxie, intoxications) (Pinay *et al.*, 2017). Par exemple, sur son réseau de suivi des cyanobactéries comportant 26 sites, l'ARS de Bretagne a constaté en 2016 que 1/3 des sites ont connu des épisodes de prolifération intense pendant au moins 3 semaines consécutives (ARS, 2017). De nombreuses communes sont par ailleurs amenées à prendre des arrêtés d'interdiction des loisirs sur des plans d'eau communaux.

Lors des vidanges, les rejets de Matières En Suspension (MES) peuvent être très importants. Le suivi de 12 vidanges d'étangs de superficies variées et munis de vannes de fond a révélé que les rejets de MES étaient compris entre 426 à 3880 kg de MES/ha (Banas, 2008). Ainsi, les opérations de vidange sont considérées comme une étape critique pour les écosystèmes aquatiques situés en aval (Gigleux, 1992). Ces apports en sédiments fins et en matières organiques particulières contribuent au colmatage du lit et à l'uniformisation des habitats, les taux d'oxygène diminuent, des substances toxiques sont remises en suspension et des lésions sont constatées sur les branchies des poissons. Par exemple, suite à la vidange du barrage de Guerlédan, les populations de salmonidés ont vu leurs effectifs diminuer et une régression de la présence de *Luronium Natans* (Flûteau nageant) a également été observée.

En synthèse, les impacts écologiques des plans d'eau peuvent être regroupés en 3 catégories (cf. figure 3).

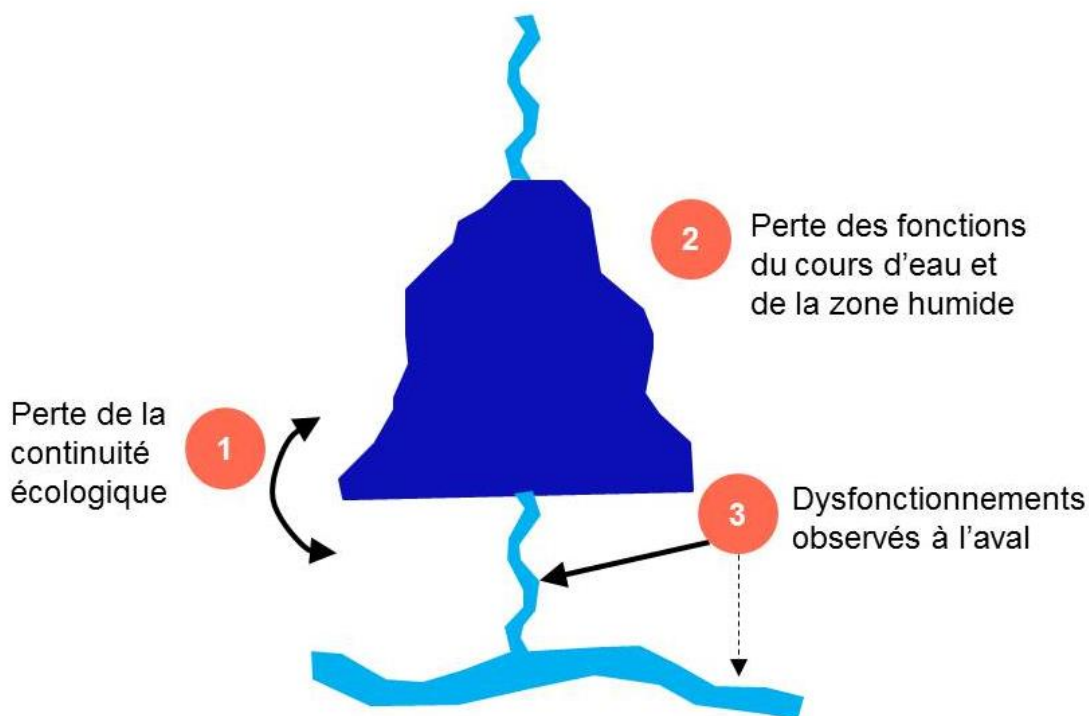


Figure 3 : Schéma des principaux impacts écologiques des plans d'eau en barrage

En fonction de l'état du plan d'eau étudié (ex : état de la digue, niveau de comblement du plan d'eau, présence d'espèces invasives...) ainsi que de l'usage associé, différentes solutions techniques existent pour limiter ces impacts (exemples : pose d'un ouvrage hydraulique de type « moine* », limitation des périodes de remplissage, restitution du débit minimum biologique, aménagement d'un chenal de contournement et suppression partielle ou totale du plan d'eau). Des vidanges régulières (tous les 4-5 ans minimum) associées à des assecs prolongés (6 mois, de l'automne au printemps) contribuent également à limiter les impacts des plans d'eau.

Lorsque les difficultés d'entretien, les contraintes de sécurité et de gestion des vidanges sont fortes, la solution de la suppression doit être privilégiée.

III. Éléments de connaissance hydromorphologique sur les effets de suppressions de plans d'eau

A l'heure actuelle, il existe peu d'études et de retours d'expériences sur les aspects techniques d'une suppression de plan d'eau. Le LIFE sur les ruisseaux en tête de bassin versant fournit une fiche technique avec notamment une partie "éléments techniques importants pour le gestionnaire" (Durllet P. coord., 2009). Des retours d'expériences sur les suppressions de plan d'eau sont présentés dans le classeur REX (AFB, 2017).

✓ La répartition des sédiments au sein de la retenue :

Les modalités techniques de suppression d'un plan d'eau vont fortement dépendre notamment du niveau de remplissage en sédiments, de la nature des sédiments ainsi que de leur répartition au sein de la retenue.

En effet, selon les cas, les sédiments ne se sont pas répartis de la même manière et selon la même intensité. Le remous solide peut remonter au-delà du remous liquide, c'est-à-dire en amont du plan d'eau. Les différents modèles de répartition des sédiments peuvent se retrouver simultanément au sein d'un même plan d'eau (cf. figure 4).

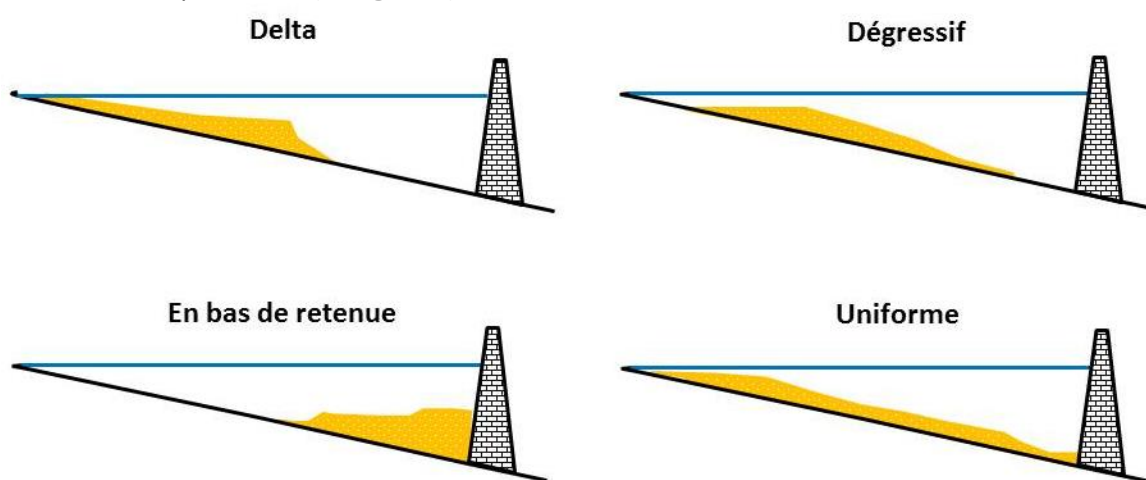


Figure 4 : Modèle longitudinal de dépôt sédimentaire dans une retenue (adapté de Morris *et al.*, 2010)

Les différentes classes granulométriques vont se déposer en différents endroits du plan d'eau. D'une manière générale, de la queue du remous à la digue, les sédiments sont de plus en plus fins et organiques. En fonction de leurs tailles, les sédiments n'ont pas la même capacité à être remobilisés.

Ces informations sur le remplissage (communément appelé « envasement ») du plan d'eau relevées au cours d'une phase de diagnostic vont permettre au gestionnaire de définir les modalités techniques de la suppression d'un plan d'eau donné.

✓ La phase de vidange de la retenue :

Une partie importante de l'opération de suppression réside dans la gestion de la phase de la vidange. Elle consiste en l'évacuation progressive de l'eau contenue dans le plan d'eau.

La vidange réalisée avec un « moine* » (cf. figure 5) présente de nombreux avantages :

- limiter le départ de MES (sauf lors de l'enlèvement de la dernière planche),
- débit de vidange plus facile à contrôler,
- baisse progressive ou massive du plan d'eau possible,
- en cas d'interventions pour l'entretien, possibilité d'effectuer un abaissement partiel,
- pêche de sauvetage plus facile à gérer,
- dévalaison plus facile des poissons,
- lenteur de mise en place dans certains cas.

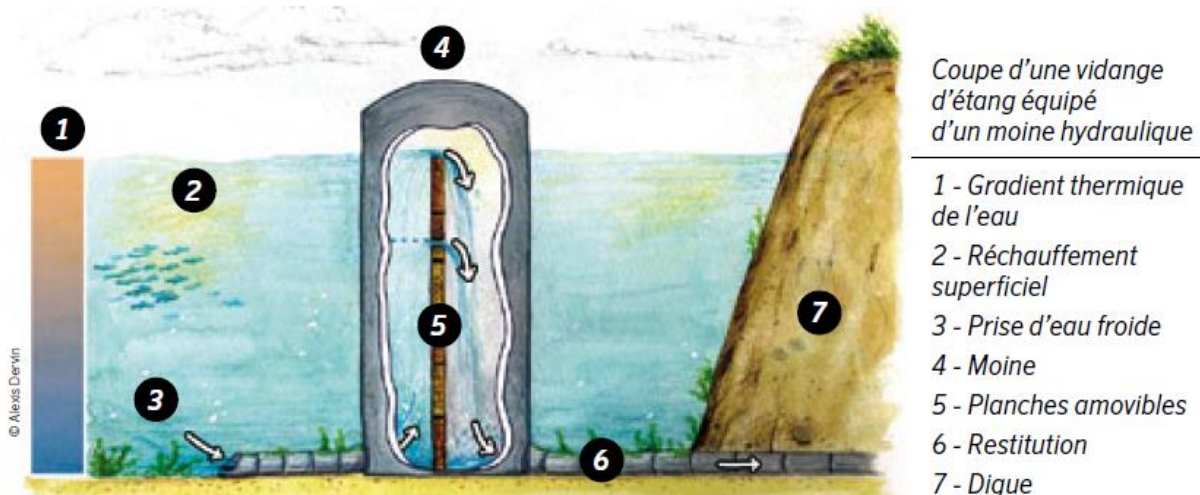


Figure 5 : Schéma d'un moine hydraulique (Durllet P. coord., 2009)

Attention, dans le cadre d'une vidange, le fonctionnement classique du moine doit être inversé afin d'avoir un abaissement par surverse et non par le fond.

Certains plans d'eau disposent d'une vanne de fond pour réaliser les vidanges mais ces vannes sont souvent difficiles à refermer ou obstruées partiellement ou totalement, ce qui les rend inutilisables. D'autres plans d'eau ne possèdent pas de système fixe de vidange et nécessitent l'usage de pompes ou de siphons.

Il convient également d'être vigilant lors de la dernière phase de récupération du poisson où la manœuvre de la senne ainsi que le piétinement des opérateurs sont susceptibles d'entraîner un départ important de MES.

Si les sédiments fins sont mis en suspension, les temps de décantation très longs de ces particules rendent les systèmes de filtration classiques (ex : bottes de paille) peu efficaces (cf. figure 6). Les teneurs en MES et surtout le déficit en oxygène dissous sont à l'origine de la grande majorité des problèmes rencontrés lors des vidanges, notamment pour la faune aquatique à l'aval et au sein de la retenue (Poirel *et al.*, 1994 ; in Banas, 2001). Ces sédiments risquent également de colmater des lieux de vie privilégiés pour la flore et la faune aquatique et d'asphyxier les œufs (Gayraud *et al.*, 2002 ; Kemp *et al.*, 2011 in Mc Donald *et al.*, 2018).

C'est pour ces raisons qu'il est essentiel de tout mettre en œuvre lors de la phase de vidange pour éviter la mise en suspension de sédiments fins. Afin de minimiser les impacts à l'aval, les eaux de fin de vidange peuvent être décantées dans un bassin de rétention (Szabo, 1994 ; Barbey, 2010). Dans le cas de prise d'eau de fond, il est également recommandé de décanter les eaux de début de vidange.

Dans certains cas, un retrait de la vase peut être préconisé dans les zones à proximité de la vanne de vidange et dans l'ancien lit submergé.

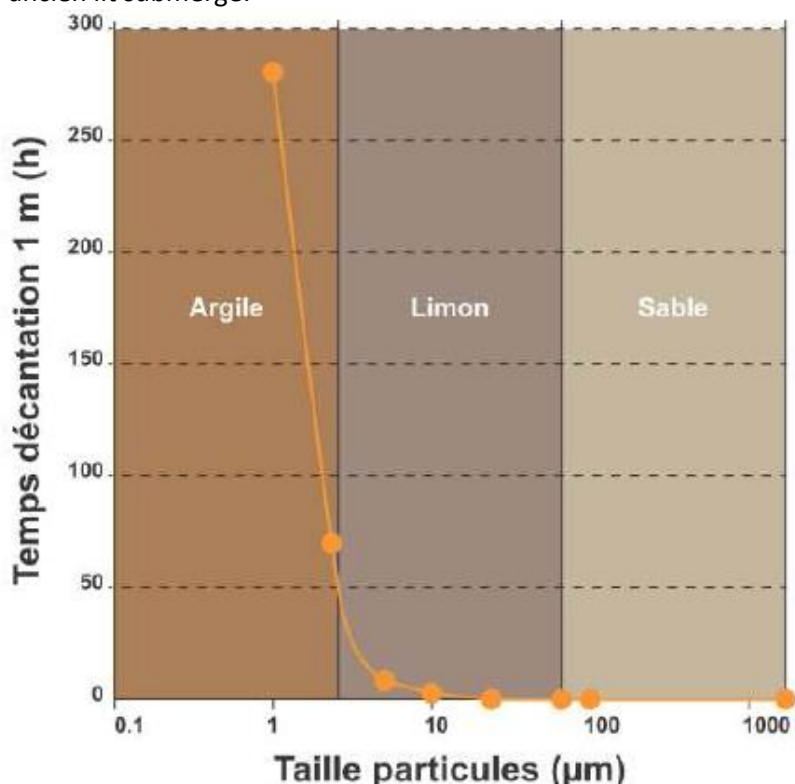


Figure 6 : Temps de décantation des particules argileuses à sableuses, en fonction de leur taille
(McLaughlin, Biotope in Mc Donald *et al.*, 2018)

✓ **La rechenalisation du lit du cours d'eau :**

Dans les cas où le plan d'eau est fortement rempli de sédiments, le gestionnaire doit s'attendre à des ajustements importants au sein du remous solide ainsi qu'un transfert d'une partie des sédiments fins stockés dans la retenue. En 2003, Doyle a décrit ce phénomène (cf. figure 7) :

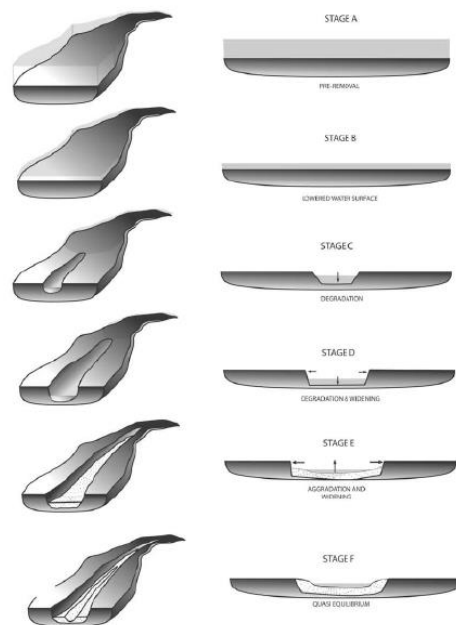


Figure 7 : Les différentes étapes d'ajustement dans le remous solide d'un seuil après dérasement (Doyle, 2003)

Cet ajustement se fait en plusieurs étapes :

A et B : Après accumulation de sédiments pendant des décennies, si la retenue est vidangée progressivement de manière à limiter leur départ, la surface des sédiments reste inchangée.

C : C'est au moment de l'arasement, lorsque la pente au droit de l'ouvrage augmente, tout comme la puissance hydraulique, que les sédiments sont mobilisés et que le lit s'incise.

D : Cette incision se poursuit vers l'amont par érosion régressive, et le lit s'élargit par érosion latérale et glissement des berges. La taille des sédiments exportés à ce stade augmente.

E : Ensuite, la fraction plus grossière des sédiments (si présente) s'accumule dans le lit. Sa présence n'est pas systématique.

F : L'élargissement se stabilise. Le front d'érosion progressera jusqu'à un point dur ou jusqu'à ce que la pente du lit s'approche de la pente d'équilibre et que l'énergie du cours d'eau diminue (Doyle, 2003).

En effet, la suppression d'un ouvrage s'accompagne souvent d'une érosion régressive dans le remous solide généré par l'ouvrage, voire au-delà si un processus d'érosion régressive (lié à une autre cause telle qu'un déficit de matelas alluvial) existe en aval du seuil à araser (Malavoi & Salgues, 2011).

Les deux facteurs principaux entraînant un risque important d'érosion régressive sont (Malavoi & Salgues, 2011) :

- le déséquilibre du cours d'eau (érosions régressive et/ou progressive préexistantes)
- l'importance du remous solide (quantité de sédiments stockés, granulométrie)

Les risques d'impacts identifiés sont :

- un sur-alluvionnement temporaire (Malavoi & Salgues, 2011).
- le dépérissement de certains arbres (Malavoi & Salgues, 2011).
- la vidange de certaines annexes hydrauliques (Malavoi & Salgues, 2011).
- la déconnexion de certains affluents.

Burroughs a trouvé une formule pour estimer la quantité de sédiments potentiellement mobilisable :

$$(H*(L/2))*W$$

Avec H : profondeur des sédiments mobilisables

L : longueur du remous solide

W : largeur du tronçon à l'amont de toute influence de la retenue

Les cours d'eau ne présentent pas la même sensibilité à ce phénomène en fonction de leur pente et de leur débit. Ainsi, les systèmes à fortes énergies sont capables d'éroder les sédiments et d'ajuster leur lit plus rapidement que les systèmes à faible énergie. Les systèmes à forte énergie correspondent aux cours d'eau présentant une puissance spécifique supérieure à 35 W.m^{-2} (Brookes, 1988). Le calcul de la puissance spécifique s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$\omega = (i * Q_{pb} * 9810) / L_{pb}$$

Avec ω = puissance spécifique à plein bord (W/m^2)
 i = pente (m/m)
 Q_{pb} = débit spécifique à plein bord (m^3/s)
 L_{pb} = largeur de plein bord (m)

Remarque : Si la retenue contient peu de sédiments et/ou si la largeur du lit est très supérieure à la largeur naturelle d'équilibre, les processus de sédimentation domineront, du moins jusqu'à ce qu'une géométrie d'équilibre soit atteinte dans l'emprise de l'ancienne retenue (plusieurs années à plusieurs décennies).

IV. Démarche administrative et réglementaire (au 1/08/2018)

Les obligations réglementaires associées à un plan d'eau dépendent de sa surface en eau cumulée à la surface d'emprise des aménagements qui le constituent (notamment la digue), de son mode d'alimentation (sur cours d'eau, sur source, en dérivation d'un cours d'eau, par ruissellement ou sans communication avec un cours d'eau), de la catégorie piscicole du cours d'eau récepteur (1^{ère} ou 2^{nde}), de l'usage actuel (pisciculture, loisir...), de sa franchissabilité piscicole et enfin de la date à laquelle il a été créé (IIBS, 2016).

✓ Pourquoi un plan d'eau est-il considéré comme « illégal » ?

Sont considérés comme illégaux (Bechtel, 2017 ; Com. Pers Vachet, 2018) :

- Les vieux ouvrages ne disposant pas d'un droit fondé en titre ou sur titre,
- Les ouvrages suivants, réalisés sans l'autorisation administrative prévue aux articles 11 et 12 de la loi du 8 avril 1898 suivant la procédure visée aux articles 1 à 15 du décret du 1^{er} août 1905 :
 - plans d'eau en barrage de cours d'eau et autres ouvrages structurant,
 - barrages réalisés en vue de l'établissement d'une prise d'eau,
- Les ouvrages non réglementés au moment de leur création:
 - s'ils n'ont pas fait l'objet d'une déclaration d'existence avant le 31/12/2006 (art. L.214-6 III du Code de l'Environnement dans les conditions prévues à l'article R. 215-53 du Code de l'Environnement). La déclaration d'existence reste toutefois possible après le délai prévu.
- Les ouvrages réguliers, notablement modifiés sans information préalable à l'autorité administrative (art. R. 214-40 du Code de l'Environnement),

- Les ouvrages réalisés après le 29 mars 1993 (date de promulgation des deux décrets : procédure 93-742 et nomenclature 93-743) sans autorisation ou déclaration EAU (art. L. 214-1 à L. 214-6 du Code de l'Environnement).

✓ **La régularisation est-elle obligatoire ?**

Suite à une infraction, deux types de suites peuvent être engagés : les poursuites pénales et les suites administratives. Les poursuites administratives sont, selon l'article L.216-1 du code de l'environnement, indépendantes des poursuites pénales. Elles peuvent donc être menées en parallèle. D'après ce même article, lorsque des travaux sont réalisés sans avoir fait l'objet de l'autorisation ou de la déclaration requise par l'article R.214-1 du code de l'environnement, le Préfet doit mettre en demeure l'exploitant ou, à défaut, le propriétaire de régulariser sa situation dans un délai qu'il détermine. L'intérêt majeur de la procédure administrative par rapport aux procédures pénales est l'absence de délai de prescription pour engager des suites (Goron, 2012). Une création de plan d'eau, sans autorisation ou sans déclaration, pour laquelle la prescription de l'action publique est acquise (1 an pour le défaut de déclaration, 6 ans pour le défaut d'autorisation), peut ainsi être sanctionnée par l'autorité administrative.

✓ **Quelle démarche administrative pour régulariser un plan d'eau ?**

Un propriétaire souhaitant régulariser son plan d'eau doit faire une demande auprès des services de la DDT(M). Des prescriptions seront apportées au pétitionnaire concernant la mise en œuvre des différentes étapes des travaux (en cas de suppression : vidange, arasement de la digue, rétablissement du cours d'eau ou de la zone humide...).

Dans les cas complexes (ex : digue importante, envasement marqué, sensibilité du milieu récepteur...), il peut être judicieux de s'adjoindre les services et compétences d'un prestataire extérieur (bureau d'études spécialisé dans la préservation et la restauration des milieux aquatiques). La régularisation doit se conformer à l'ensemble des dispositions suivantes :

1) Code de l'urbanisme

Préalablement, pour les plans d'eau récents, il est nécessaire de vérifier l'occupation initiale des sols avant la création (sur les documents d'urbanisme existant : le Plan Local d'Urbanisme (PLU), le Plan d'Occupation des Sols (POS) ou la carte communale.

2) Code de l'Environnement

Les plans d'eau sont soumis au titre de la police de l'eau à déclaration ou autorisation préalable auprès de la DDT(M) (cf. tableau 2).

Tableau 2 : Nomenclature eau et rubriques concernant les plans d'eau (version résumée au 1 Août 2018)

Organe(s) de prélèvement	<u>Rubrique 1.2.1.0 :</u> Autorisation : capacité totale maximale $\geq 1000\text{m}^3/\text{h}$ ou à 5% du débit du cours d'eau Déclaration : capacité totale maximale entre 400 et $1000\text{m}^3/\text{h}$ ou entre 2 à 5% du débit du cours d'eau
Hauteur du seuil	<u>Rubrique 3.1.1.0 :</u> Autorisation : différence de niveau amont-aval $\geq 0,5\text{ m}$

	Déclaration : différence de niveau amont-aval de 0,20 à 0,50 m
Profil en long et en travers du cours d'eau	<u>Rubrique 3.1.2.0 :</u> Autorisation : sur une longueur supérieure ou égale à 100m Déclaration : sur une longueur inférieure à 100m
Luminosité du cours d'eau	<u>Rubrique 3.1.3.0 :</u> Autorisation : supérieure ou égale à 100m Déclaration : supérieure ou égale à 10m et inférieure à 100m
Frayères sur cours d'eau	<u>Rubrique 3.1.5.0 :</u> Autorisation : destruction de plus de 200 m ² de frayères Déclaration : dans les autres cas
Superficie	<u>Rubrique 3.2.3.0 :</u> Autorisation : Superficie ≥ à 3 ha Déclaration : Superficie de 0,1 à 3 ha
Implantation en zone humide	<u>Rubrique 3.3.1.0 :</u> Autorisation : Superficie ≥ 1 ha Déclaration : Superficie entre 0,1 ha à 1 ha
Vidanges :	<u>Rubrique 3.2.4.0 :</u> Autorisation : pour les barrages d'une hauteur supérieure à 10 m ou dont le volume de la retenue est supérieur à 5 millions de m ³ Déclaration : autres vidanges de plans d'eau dont la superficie est supérieure à 0,1 ha <i>Rappel</i> : en 1 ^{ère} catégorie piscicole les vidanges sont interdites entre le 1 ^{er} décembre et le 31 mars (cf. Arrêté de Prescriptions Générales du 27 août 1999)

En fonction des travaux effectués, des rubriques complémentaires peuvent également être visées (ex : Rubriques 3.2.2.0. pour les remblais en lit majeur...).

Tout plan d'eau supérieur à 1000 m² doit posséder un acte administratif justifiant de son existence légale. L'Arrêté de Prescriptions Générales (APG) du 27 Août 1999 (modifié par l'arrêté du 27 juillet 2006) fixe les prescriptions générales applicables aux opérations de création d'étangs ou de plans d'eau, soumises à déclaration au titre de la police de l'eau et des milieux aquatiques.

Tout plan d'eau légalement installé doit également respecter différentes modalités :

- **la vidange d'un plan d'eau** avant la mise en assec est encadrée par la rubrique 3.2.4.0 de l'article R.214-1 du Code de l'Environnement. Les vidanges doivent être réalisées régulièrement, selon les obligations de l'arrêté de prescriptions générales du 27 août 1999 et de la rubrique 3.2.4.0 du tableau annexé à l'article R214-1 du Code de l'Environnement. Le récépissé de déclaration de vidange soumise à déclaration vaut pour la vie de l'ouvrage.

- **le débit réservé** au titre du L.214-18 du Code de l'Environnement.

Il faut également respecter les obligations liées à la sécurité des digues et barrages (cf. Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015).

3) SDAGE et SAGE

Il n'existe pas de dispositions spécifiques à la suppression de plan d'eau dans le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021. Les dispositions concernent uniquement la création de plan d'eau :

La création de plans d'eau doit être compatible avec les dispositions du SDAGE et des SAGE (PAGD) ou conforme au règlement du SAGE.

Par exemple, le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021, dans le chapitre 1 partie E « Encadrer et limiter la création de plans d'eau » mentionne les solutions à adopter pour les ouvrages dangereux pour la sécurité publique ou sans usage avéré :

« Pour les ouvrages dangereux pour la sécurité publique ou sans usage avéré (c'est-à-dire sans usage économique ou de loisirs collectifs), des remises aux normes ou des suppressions (destruction ou ouverture de digues...) seront à prévoir. »

Le SAGE Blavet, quant à lui, prévoit 7 règles spécifiques à la création des plans d'eau (SAGE BLAVET, 2018).

Concernant les plans d'eau ni déclarés ni autorisés, le SDAGE Loire Bretagne 2016-2021 précise que la régularisation administrative sera possible sous réserve du cumul des critères suivants :

- que les périodes de remplissage (préconisées entre le 1er décembre et le 31 mars), de prélèvement éventuel dans le plan d'eau et de vidange soient bien définies au regard du débit du milieu, sans pénaliser celui-ci notamment en période d'étiage ;

- que les plans d'eau soient isolés du réseau hydrographique, y compris des eaux de ruissellement, par un dispositif de contournement garantissant le prélèvement du strict volume nécessaire à leur usage, et qu'en dehors du volume et de la période autorisés pour le prélèvement, toutes les eaux arrivant en amont de l'ouvrage ou à la prise d'eau, à l'exception des eaux de drainage agricole, soient transmises à l'aval, sans retard et sans altération ;

- que les plans d'eau soient équipés de systèmes de vidange pour limiter les impacts thermiques et équipés également d'un dispositif permettant d'évacuer la crue centennale, de préférence à ciel ouvert ;

- que la gestion de l'alimentation et de la vidange des plans d'eau en dérivation du cours d'eau soit optimisée au regard du transit sédimentaire de sorte de ne pas compromettre l'atteinte des objectifs environnementaux des masses d'eau influencées. En particulier un dispositif de décantation (ou tout autre dispositif évitant les transferts de matières en suspension vers l'aval) est prévu pour réduire l'impact des vidanges ;

- que l'alimentation des plans d'eau en dérivation du cours d'eau laisse en permanence transiter dans le cours d'eau un débit minimal* garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces ;

- qu'un dispositif de piégeage des espèces indésirables (espèces susceptibles de provoquer des déséquilibres biologiques ou espèces non représentées dans les cours d'eau à proximité) soit prévu.

4) **Autres recommandations**

La suppression ainsi que la création de plans d'eau doit tenir compte des classements existants (Arrêté préfectoral de Protection de Biotope, Natura 2000, ZNIEFF ...), de la présence d'espèces protégées et plus largement d'espèces patrimoniales.

Pour les services en charge de la police d'eau : quelle démarche privilégier pour la régularisation ?

L'intervention pour la suppression d'un plan d'eau intervient souvent lors d'une demande de travaux de vidange ou d'entretien. Si le contrôle est réalisé sur un bassin versant complet, il convient d'adopter une stratégie adaptée. L'intervention complémentaire des polices administrative et judiciaire est à privilégier.

En cas d'ouvrage illégal, une régularisation administrative est obligatoire et la demande est à effectuer auprès des services des DDT(M) (BECHTEL, 2017):

- **Information du propriétaire** par le Service Police de l'Eau du caractère illégal de son ouvrage (rapport de manquement administratif)
- **Mise en demeure au propriétaire de régulariser sa situation dans un délai déterminé** (L. 171-7 du Code de l'Environnement):
 - en déposant un dossier de régularisation administrative
 - en déposant un dossier de déclaration d'existence (cette démarche incombe au propriétaire)

Le propriétaire peut être informé oralement ou par courrier connexe des difficultés prévisibles d'une régularisation.

- **Arrêté ordonnant la remise en état :**
 - prescriptions encadrant la destruction de l'ouvrage dans un délai déterminé
- **Consignation des fonds** (dans les cas les plus compliqués)

Dans certains cas, la régularisation passe systématiquement par la suppression du plan d'eau :

- lorsque l'ouvrage enfreint des dispositions réglementaires et qu'aucune mesure n'est possible (exemples : non-respect du débit réservé, absence de mesures compensatoires zones humides...)
- lorsque l'ouvrage est situé dans une vallée encaissée et qu'il est impossible d'effectuer un bras de contournement du plan d'eau.

B. Matériels et méthodes

I. Localisation des plans d'eau étudiés

Sur le territoire de la direction interrégionale Bretagne, Pays de la Loire qui compte 9 départements, une démarche d'inventaire non exhaustif en lien avec les services départementaux de l'ex-ONEMA / AFB a permis de recenser **40 opérations de suppressions de plans d'eau (en excluant les grands barrages)**.

La répartition des sites est la suivante (cf. figure 8 ; cf. annexe B) :

- 25 dans le département du Morbihan (62,5 % des opérations recensées),
- 5 en Ille-et-Vilaine,
- 3 en Maine-et-Loire,
- 3 en Mayenne,
- 3 dans la Sarthe,
- 1 dans le Finistère.

Aucun site n'a pu être identifié dans les départements des Côtes d'Armor, de la Loire-Atlantique et de la Vendée.

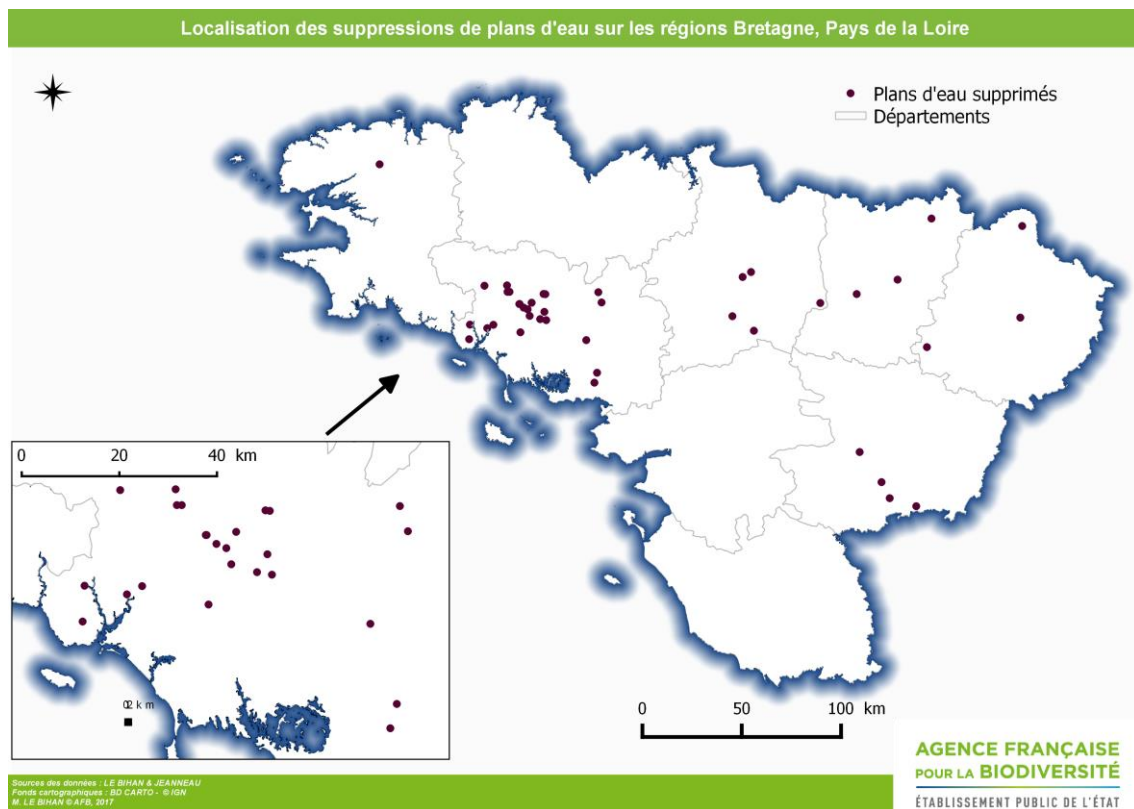


Figure 8 : Localisation des opérations de suppressions de plan d'eau (au 1 Octobre 2016) menées sur le territoire Bretagne, Pays de la Loire

II. Méthode d'évaluation des opérations de suppressions de plans d'eau

Toutes les opérations de suppressions de plans d'eau recensées dans le cadre de cette étude avaient été réalisées lors de notre visite sur le terrain. Aussi, il n'a pas été possible d'effectuer d'état initial et de suivi de leurs réalisations.

Les moyens humains mis en œuvre pour réaliser ce retour d'expériences ont été estimés à 2 agents par ouvrage pour une durée moyenne de 30 minutes. Une fiche terrain spécifique a été élaborée (cf. annexe C), elle permet la collecte d'informations, qui sont ensuite bancarisées au sein d'un tableau Excel.

La phase terrain a été effectuée sur 2 périodes : 2014 et février 2015. Toutes les variables identifiées n'ont pas pu être collectées sur l'ensemble des plans d'eau. Aussi, pour chaque variable, l'effectif considéré sera précisé.

C. Analyse des résultats

I. Caractéristiques des opérations de suppressions

1. Caractéristiques des cours d'eau et des plans d'eau

L'analyse de la BD TOPO a révélé que 20 suppressions ont été réalisées sur des cours d'eau de rang de Strahler 1 (50% des cas) et 8 sur des cours d'eau de rang de Strahler 2 (20% des cas), soit 70 % sur des cours d'eau en tête de bassin versant (cf. figure 9).

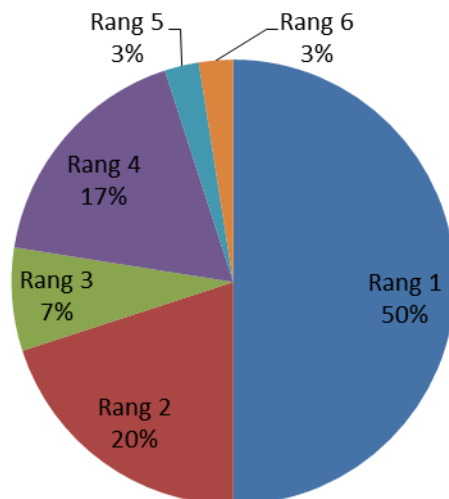


Figure 9 : Rangs de Strahler des cours d'eau étudiés

Les pentes des cours d'eau étudiés varient très fortement, de quelques pour mille à 5%.

Les plans d'eau supprimés sont pour 77,5 % d'entre eux en barrage (soit 31 sites) (cf. figure 10).

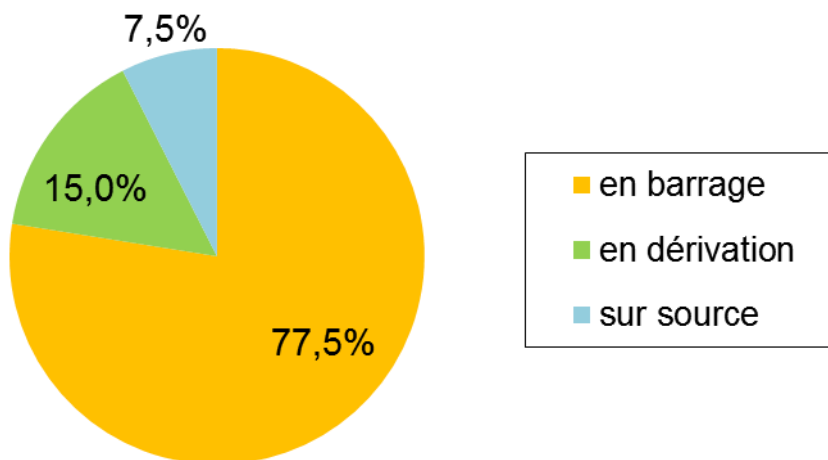


Figure 10 : Typologie des plans d'eau supprimés

Les plans d'eau étudiés présentent des superficies très variées avec un minimum de 0,03 ha (soit 300 m²) et un maximum de 14 ha (cf figure 11).

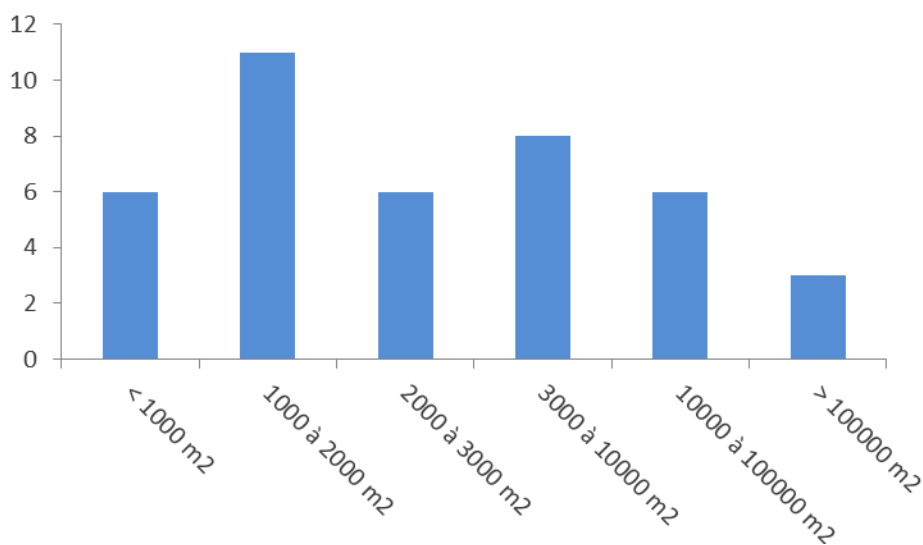


Figure 11 : Superficie des plans d'eau recensés

Les niveaux de remplissage en sédiments sont très hétérogènes en fonction du type de plan d'eau considéré, de son âge et de sa gestion. Ainsi, les volumes estimés de sédiments piégés dans les retenues s'étendent de 50 m³ à 100 000 m³ en fonction des plans d'eau étudiés. Concernant leurs natures, les sédiments sont essentiellement constitués par des sédiments fins (vase, argile, limon, sable fin).

L'analyse des sédiments a été uniquement effectuée sur 2 des plans d'eau étudiés. Elle était associée à un besoin d'export de matériaux. La première analyse révélait des fortes accumulations de matière organique et des concentrations élevées en nitrates, phosphates ainsi que des concentrations élevées en certains métaux (zinc, chrome ...).

2. Contexte des suppressions

En 2001, la CLE du SAGE BLAVET a demandé une étude complémentaire sur les plans d'eau présentant une superficie supérieure à 1000 m². Ce seuil correspond à la limite de surface au-delà de laquelle la création de plan d'eau est systématiquement soumise à une procédure de déclaration ou d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. Cette dimension de plan d'eau est également adaptée à une identification à partir des photographies aériennes. A l'échelle des communes et des sous-bassins versants, le calcul de la densité des plans d'eau a été effectué. Cette étude a permis de recenser 860 plans d'eau sur le bassin versant du Blavet.

A partir de ce travail, un sous bassin test de 50 plans d'eau a été retenu pour analyser l'existence légale des plans d'eau et le cas échéant définir les modalités de mise en conformité. Différentes informations ont été relevées sur le terrain pour chaque plan d'eau : sa localisation précise, son mode d'alimentation, la distance par rapport au cours d'eau et le calcul des principales caractéristiques quantitatives (surface, périmètre).

Pour les plans d'eau les plus récents, les services de l'état constatent que de nombreux plans d'eau de petites tailles ne présentent pas d'existence légale. L'étude menée sur le SAGE Blavet en 2004 avait révélé que 23 plans d'eau sur les 50 étudiés ne présentaient pas d'actes administratifs d'autorisation.

La loi sur l'eau prévoyait la possibilité aux propriétaires de plans d'eau de faire une déclaration d'existence du plan d'eau jusqu'au 31/12/2006. Sur le département du Morbihan aucun propriétaire ne l'a fait. Les plans d'eau n'ayant pas fait l'objet d'une déclaration d'existence restent en situation irrégulière.

Le syndicat de la vallée du Blavet, structure opérationnelle de gestion des milieux aquatiques du bassin versant morbihannais du Blavet, a choisi d'intégrer la problématique de gestion des plans d'eau dans son programme pluriannuel de travaux. Ainsi les propriétaires peuvent solliciter le syndicat pour bénéficier de la maîtrise d'ouvrage du syndicat. Cela se traduit par un accompagnement administratif, technique et financier pour toutes opérations de rétablissement de la continuité écologique ou hydromorphologique. Cette collaboration étroite entre la collectivité locale, les services de la police de l'eau de la DDTM, l'AFB et les propriétaires permet de répondre à beaucoup de situations et de lever de nombreux freins, le tout dans un objectif de reconquête de la qualité du milieu naturel.

Hormis l'étude du bassin versant test du Blavet, la plupart des cas interviennent lorsque les propriétaires font des demandes de travaux (vidange, réfection de digue, réparation des vannes, envasement, végétation invasive) ou encore lors de la vente du plan d'eau (notaires à informer). Sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire, le nombre des suppressions de plans d'eau a augmenté de manière significative à partir de l'année 2010 (cf. figure 12). Le territoire du Blavet est précurseur sur ce type d'opération de restauration des milieux aquatiques.

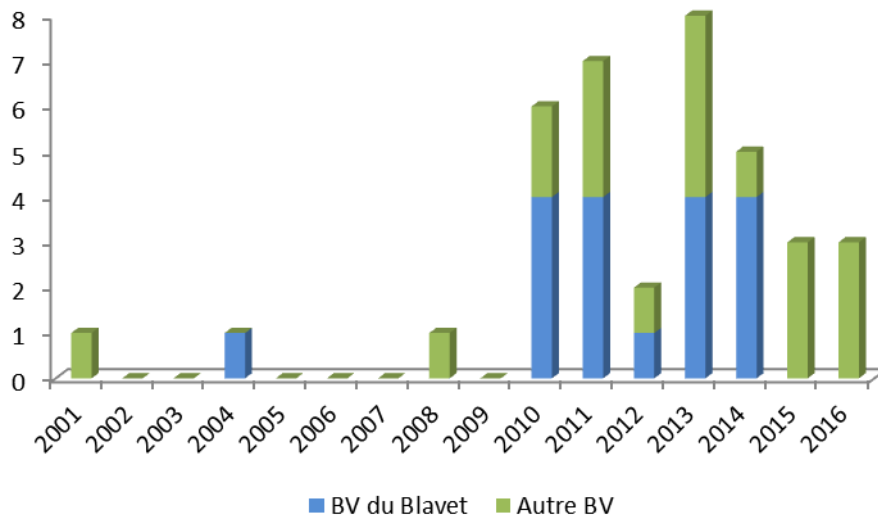


Figure 12 : Evolution des suppressions de plans d'eau par année

La moitié des plans d'eau supprimés appartenaient à des privés et l'autre moitié à des communes.

27 des 40 plans d'eau supprimés ne possédaient pas d'existence légale. 2 étaient fondés en titre et 7 présentaient un acte d'existence légale.

L'origine des suppressions est variée :

- 8 ont été réalisées dans le cadre de l'étude du SAGE Blavet (police administrative)
- 5 pour un objectif de rétablissement de la continuité
- 1 suite à une vidange accidentelle
- 1 suite à une inondation du riverain en aval
- 2 en raison de problématiques d'espèce invasive (Myriophylle du Brésil)
- 1 pour régularisation administrative suite à une vidange
- ...

L'occupation des sols à proximité immédiate du plan d'eau est variée : urbain (9), forêt (6), zone humide (14), culture (2).

28 plans d'eau présentaient un usage de loisirs uniquement, deux pour l'irrigation et deux pour l'eau potable. Ainsi, 90% des plans d'eau supprimés présentaient un usage uniquement de loisirs.

II. Modalités techniques de la phase travaux

La majorité des suppressions est survenue entre les mois de **Mai et Septembre**. Les 2 cas de suppressions survenues en dehors de cette période sont dus à des vidanges accidentelles (par rupture du moine ou de la digue).

Des **pêches de sauvetage** ont été réalisées dans de 50% des opérations de suppressions.

Lorsque les ouvrages de gestion le permettaient, la **vidange fut lente et progressive**.

Sur 27 des 40 plans d'eau étudiés, il a été possible de récupérer l'information sur les **dispositifs de filtration** mis en œuvre à l'aval du plan d'eau lors de la phase de vidange. 5 plans d'eau ont été équipés de dispositifs de filtration constitués de bottes de pailles. 2 plans d'eau ont pu s'en passer

car ils étaient à sec. Et pour l'un d'entre eux, une dérivation a été effectuée pendant la phase travaux. Pour deux plans d'eau, des bassins de décantation ont été mis en place dans l'objectif de limiter le transfert des sédiments fins.

Dans les cas où la forme de la vallée (« cuvette ») a été modifiée lors de la création du plan d'eau :

Dans plusieurs cas, des **matériaux (de type « remblais ») ont été apportés** au sein de l'ancienne cuvette du plan d'eau afin de permettre de reconstituer la forme de la vallée.

Dans 2 cas, cet apport de matériaux au sein du lit majeur fut trop important. Ceci entraîné un surdimensionnement du gabarit du cours d'eau ainsi qu'un remblaiement des zones humides historiques ne permettant pas un débordement naturel du cours d'eau dans son lit majeur (cf. figure 13).



Figure 13 : Plan d'eau avec apport excessif de matériaux (après suppression)

Dans certains cas, l'absence d'apports de matériaux a induit une impossibilité à ce que le lit se reconstitue naturellement (cf. figure 14). Les cours d'eau concernés présentaient à la fois une faible puissance spécifique et de faibles apports solides amont.



Figure 14 : Plan d'eau avec cuvette sur creusée sans apport de matériaux

Ce surcreusement de la cuvette est de nature à engendrer le maintien d'une lame d'eau importante malgré la suppression du plan d'eau (cf. figure 15).



Figure 15 : Maintien d'un niveau d'eau important malgré la suppression de plan d'eau, du fait du surcreusement de la cuvette.

Ce maintien d'un niveau d'eau important ne permet pas de restaurer la fonctionnalité du cours d'eau et du lit majeur associé. De plus, l'absence d'ombrage et la superficie d'eau induisent une élévation significative de la température de l'eau.

Plusieurs autres **imprévus de réalisation au cours de la phase travaux** ont été relevés :

- une erreur de calage altitudinale d'un pont cadre au droit de la digue du plan d'eau existant (1 cas) entraînant une mise en eau à l'amont immédiat de la digue ainsi que des difficultés de reconstitution du lit mineur.
- un surdimensionnement du lit mineur (6 cas) limitant les débordements.
- des tracés trop rectilignes (5 cas) : du fait de travaux hydrauliques anciens ou du fait des modalités de réalisation du nouveau lit.

Dans deux cas, des **phénomènes d'érosion régressive** très importants ont été constatés à l'amont de l'ancienne retenue (cf. figure 16). Ces derniers peuvent être amplifiés par des phénomènes d'érosion progressive dans le cas de déficit de matériaux ou de travaux hydrauliques lourds en amont.



Figure 16 : Cours d'eau présentant des érosions régressives importantes

Ces 2 cas regroupaient deux facteurs de risques majeurs :

- des cours d'eau présentant naturellement une forte pente (puissance spécifique importante et tendance naturelle à l'érosion),
- des plans d'eau impactés par des exports de matériaux et creusement de la cuvette lors de leurs créations (altération du profil en long initial et déficit de matériaux).

Dans ces 2 cas, des radiers lourds ont dû être implantés afin de supprimer la chute générée et stopper le phénomène d'érosion régressive.

Sur certains sites, les améliorations de la continuité écologique peuvent être limitées du fait principalement de la persistance d'obstacles à la continuité à l'aval et / ou à l'amont du plan d'eau supprimé (4 cas) (cf. figure 16).



Figure 16 : Présence d'un obstacle infranchissable à l'amont immédiat du plan d'eau

Plusieurs cas de remises en eau des plans d'eau ont été observés. Ces remises en eau ont été réalisées de manière naturelle par l'arrivée d'embâcles (2 cas) ou de manière intentionnelle (1 cas) (cf. figure 17).



Figure 17 : Brèche obstruée par une buse installée de manière intentionnelle entraînant une remise en eau du plan d'eau

III. Gestion du milieu post-suppression

Dans 18 cas sur 40 aucune intervention n'a été réalisée après la suppression du plan d'eau.

Dans plusieurs projets, des interventions ont été réalisées :

- renforcement ponctuel de berges (1),
- apport en granulats pour travaux d'arrachage de myriophylle (1),
- retrait d'un busage de 70 mètres à l'aval du plan d'eau (1),
- pose d'une buse pour permettre le franchissement du cours d'eau (1),
- retrait de remblai en lit majeur (1),
- génie végétal sur berges (1),
- recharge en granulats (3).

La présence d'un matelas alluvial n'est pas systématique après une suppression. Elle dépend de la présence ou non au droit du plan d'eau d'une granulométrie diversifiée recouverte par les sédiments fins ou par une reprise du transport solide du fait de la dynamique fluviale retrouvée. Dans certains cas, le matelas alluvial s'est reconstitué très rapidement sur plusieurs dizaines de centimètres de profondeur. Dans d'autres cas, il a été nécessaire de reconstituer le matelas alluvial avec la réalisation d'une recharge granulométrique. Il convient dans ce cas de suivre les préconisations techniques associées à ce type d'opération (Bramard, 2010 ; CATER Normandie, 2018). Il faut notamment veiller sur les cours d'eau intermittents et/ou à faible débit d'étiage à choisir une étendue granulométrique large afin de limiter les phénomènes de perte d'écoulements en raison d'une granulométrie trop grossière, phénomènes observés sur 2 sites.

La **végétalisation** du plan d'eau s'opère en majorité entre 2 et 4 mois après les travaux (cf. figure 18). Les résultats ne permettent pas de révéler des différences de vitesse de reprise de la végétation entre les cas avec ensemencement (11 cas) et sans ensemencement (14 cas).



Figure 18 : Vitesse de reprise de la végétation

La **gestion de la strate herbacée** s'est effectuée de manière très différente selon les usages associés au site (données sur 37 sites sur 40) :

- absence de fauche, évolution libre (26 cas),
- fauche (7 cas),
- pâturage (2),
- plantation de pelouse (2).

Dans la majorité des cas (27), il n'y a pas eu **de gestion de la ripisylve**. Dans 8 cas, une ripisylve a été réimplantée. Et 2 sites ont fait l'objet de coupes sélectives des résineux et peupliers.

IV. Communication et Suivi écologique

3 sites ont fait l'objet d'une **démarche de sensibilisation** au travers de panneaux pédagogiques, parcours aménagés ou encore chemins d'éveil (cf. figure 19).



Figure 19 : Communication sur la suppression d'un plan d'eau

Ces aménagements pédagogiques permettent de mieux appréhender les effets des suppressions de plans d'eau. Par exemple, la visite du plan d'eau supprimé de Coupeau en Mayenne durant les crues a permis d'apprécier le rôle du cours d'eau dans la régulation des crues (cf. figure 20). Ce plan d'eau a par ailleurs fait l'objet d'une fiche de retour d'expériences en 2014 (ONEMA, 2018).



Figure 20 : Rôle d'un cours d'eau restauré dans la régulation des crues

Sur les 40 plans d'eau étudiés, 8 plans d'eau ont fait l'objet d'un suivi spécifique (photographie, biologie, habitat, hydromorphologie).

V. Bénéfice

La suppression permet de regagner un linéaire de cours d'eau, de 80 à 2000 mètres en fonction des plans d'eau, soit le linéaire de cours d'eau présent auparavant au sein des plans d'eau. De plus, la limitation des perturbations générées par la présence du plan d'eau (réchauffement, eutrophisation, modification des espèces, obstacle à la continuité écologique, problèmes lors des vidanges ...)

permet d'améliorer le fonctionnement des cours d'eau en aval de ces retenues (linéaire non quantifiable).

La suppression permet quasi-systématiquement de retrouver les anciennes zones humides ennoyées lors de la création du plan d'eau. Les bénéfices peuvent être limités en raison de pressions hydromorphologiques supplémentaires telles que la chenalisation initiale du cours d'eau, le remblaiement du fond de vallée. Dans certains cas, des facteurs naturels limitent ce gain (ex : fond de vallée encaissé, cours d'eau à forte pente avec incision naturelle limitant les débordements).

Dans la majorité des cas, la suppression a permis le rétablissement total de la continuité écologique. Les suppressions non associées à un rétablissement total de la continuité écologique illustrent différentes situations : arasement partiel maintenant une chute infranchissable, ouvrage infranchissable existant à proximité immédiate, érosion régressive créant une chute à l'amont de l'ancienne retenue.

Dans certains cas, des anciens usages ont pu être réhabilités comme par exemple la mise en place de pâturage extensif au droit de l'ancienne emprise du plan d'eau (cf. figure 21).



© Le Bihan, 2014

Figure 21 : Retour d'une activité agricole extensive au droit du plan d'eau

Dans certains cas, la suppression de plans d'eau peut également apporter des bénéfices pour le propriétaire (ex : suppression des coûts d'entretien, suppression des problèmes de sécurité : fragilité de la digue, risque de noyade...). De plus, une assistance technique et financière est mise en œuvre par de nombreux organismes (agence de l'eau, collectivités ...) (EPTB Vienne, 2010).

VI. Coût financier

Les données sur les coûts de ces différents projets ont été difficiles à récupérer (8 projets sur 40). Ils sont très variables allant de 650 euros (suppression du moine et des buses) pour le minimum à 300 000 euros pour le maximum. La diversité des coûts traduit la variété des projets (type de cours d'eau, type de plans d'eau, surface du plan d'eau, taille de la digue, nature des ouvrages, niveau de remplissage en sédiments, toxicité des sédiments, mesures paysagères et d'accompagnement, mise en œuvre d'un suivi écologique, projet de sensibilisation...).

Concernant l'étude du sage blavet de 2004, les coûts des travaux liés à la régularisation administrative ont été intégralement à la charge des propriétaires et ces données n'ont pas pu être récupérées.

Depuis 2011 le syndicat de la Vallée du Blavet assure le suivi technique, administratif et financier des projets de suppression de plan d'eau sur son territoire. Voici un récapitulatif des coûts moyens observés (cf. tableau 3).

Tableau 3 : Illustration des coûts d'une suppression de plan d'eau

Etape	Descriptif	Coût (HT)
Etape de vidange du plan d'eau	Pêche professionnelle d'un plan d'eau et transfert vers un autre plan d'eau	1000 euros HT 1200 euros 2500 euros
Etape de suppression de l'ouvrage	Destruction et évacuation de l'ouvrage existant	1050 euros HT (Tréharun)
	Terrassement 511 m ³	10 700 euros HT (21 euros le m ³) (Tréharun)
	Terrassement sur une journée avec une pelle mécanique de 20 Tonnes avec chauffeur	648 euros HT
	Évacuation de matériaux en décharge (239 Tonnes)	1673 euros HT, soit 7 euros la tonne (étang de Penhouet)
	Reconstitution de l'ancienne vallée (avant création du plan d'eau) et mise en forme de la parcelle	6540 euros HT (étang de la chapelle neuve)
Mesures d'accompagnement	Recharge granulométrique	1685 euros (Tréharun)
	Livraison de granulat 80-250	19,90 euros HT la tonne
	Mise en place d'un passage écopal diamètre 600 sur 6 m	630 euros HT
Suivi écologique	Suivi IBG-DCE (macroinvertébrés)	750 euros HT
	Suivi IPR (poisson)	1000 euros HT

Dans le cadre de ces travaux de suppression une partie du coût des travaux reste à la charge des propriétaires.

Dans le cadre de ces recherches, des données sur le prix de l'entretien par curage du plan d'eau de Coupeau ont été retrouvées. Avant suppression, ce site nécessitait des curages fréquents (tous les 6 à 10 ans) et les volumes extraits étaient de plus en plus importants. Le coût a été estimé à 110 000 euros pour les 3 derniers curages (en 1988 pour 15 000 m³, en 1996 pour 8 000 m³ et en 2004 pour 30 000 m³) (Perchet, 2016).

Des données complémentaires sur les coûts de suppressions de plans d'eau en Mayenne sont disponibles au sein du rapport de Perchet en 2016. Le document de l'EPTB Vienne fournit également des informations relatives au coût d'une suppression de plan d'eau.

D. Recommandations techniques lors de la suppression d'un plan d'eau

Ces recommandations sont issues des retours d'expériences de ces 40 suppressions de plans d'eau ainsi que des références bibliographiques disponibles.

I. Diagnostic

Avant d'initier une suppression de plan d'eau, il apparaît essentiel d'effectuer un diagnostic assez précis afin d'éviter tout imprévu.

1) Volet sociologique

L'aspect « sociologique » doit être pris en compte dès les premières phases d'un projet de suppression de plan d'eau. Il se traduit par des réunions d'information (réunion d'information du public dans le cas d'un plan d'eau communal), des rencontres avec les propriétaires, la proposition de différents scénarii d'aménagement. En effet, la suppression d'un plan d'eau peut être traumatisante pour certains propriétaires qui ont investi et veulent laisser cet héritage.

Un projet de suppression de plan d'eau peut rencontrer de nombreuses réticences susceptibles d'empêcher le développement de projets de restauration ambitieux. Des outils existent pour faciliter les échanges et la communication sur cette problématique (Bouni, 2013 ; Riviere *et al.*, 2014).

2) Volet économique

Il convient d'examiner les différents usages associés au plan d'eau (ex : eau potable, irrigation, tourisme, navigation, loisirs aquatiques...) afin d'identifier, si nécessaire, les mesures d'accompagnement adaptées.

3) Volet biologique

La connaissance sur la biologie du cours d'eau et du plan d'eau est essentielle (espèces protégées, espèces patrimoniales, espèces invasives et/ou envahissantes, espèces non représentées).

4) Volet hydromorphologique

Certaines données sont essentielles au diagnostic, elles sont rappelées clairement dans l'outil REFMAI (Fiches en cours de réalisation).

Certains points de vigilance ont été identifiés dans le cadre de cette étude :

- ✓ **Analyse historique : modalités de création du plan d'eau et les travaux hydrauliques anciens**

Il est primordial de déterminer les éventuelles modifications du fond de la vallée (approfondissement, élargissement) survenues lors de la création du plan d'eau afin d'augmenter sa capacité de stockage de l'eau (cf. figure 22). En effet, ces modifications historiques vont déterminer les évolutions du plan d'eau post-suppression.

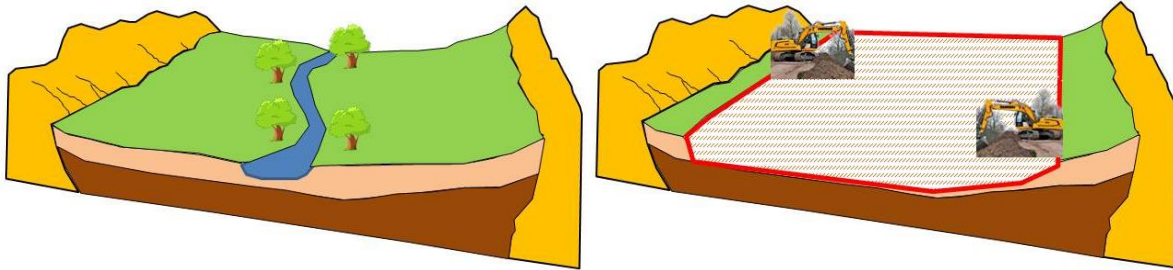


Figure 22 : a) absence de modification du fond de vallée ; b) approfondissement et élargissement du fond de vallée

Il faut également essayer de savoir si les matériaux extraits ont servi à construire la digue du plan d'eau. Cette information peut être déterminante pour définir le choix de régaler entièrement ou non les matériaux constitutifs de la digue (selon leur nature, leur volume...).

En fonction de l'ampleur des modifications, des difficultés de reconstitution du lit mineur (ex : déficit de matériaux, apparition de la roche mère, érosion régressive...) et de la fonctionnalité du lit majeur (ex : déconnexion du lit majeur...) peuvent survenir.

De la même manière, il est essentiel d'identifier les travaux hydrauliques survenus sur le lit mineur au droit du plan d'eau avant sa création (ex : rectification, recalibrage, retraits du matelas alluvial et des blocs...). En effet, ces travaux peuvent compromettre les ajustements morphologiques du cours d'eau suite à l'opération de suppression.

✓ **Analyse de l'état actuel :**

- **Les caractéristiques des ouvrages et de la digue associée** (hauteur, nature des matériaux...),
- **La topographie** du plan d'eau (quelques profils en travers dans le cas d'absence de plan topographique) et du cours d'eau (profil en long du cours d'eau dans la zone d'emprise du plan d'eau et à l'amont et l'aval immédiat, profils en travers à l'amont et à l'aval de la zone d'emprise du plan d'eau),
- **La connaissance du niveau de remplissage en sédiments** de la retenue (quantité, type de sédiments) est essentielle pour déterminer le mode approprié de gestion,
- La connaissance sur les **problématiques de continuité écologique** associées à ces barrages,
- La **granulométrie dominante** par faciès d'écoulement en amont et en aval ainsi que la nature et l'érodabilité des berges en amont,
- Le **niveau de colmatage** à l'aval du projet (protocole Archambaud pour une évaluation du colmatage de surface, protocole des bâtonnets CARHYCE pour une évaluation du colmatage interstitiel),
- Le classement de la zone concernée et de la zone aval et amont (Natura 2000, ZNIEFF, etc...)

5) Volet qualité d'eau

La connaissance des activités humaines actuelles et historiques en amont du plan d'eau permet de déterminer la nécessité de recourir à une **analyse de la toxicité des sédiments** (notamment en cas d'une évacuation des matériaux).

Les problématiques en lien avec la qualité des eaux doivent être clairement identifiées (eutrophisation, cyanobactéries ...).

II. Phase travaux

Préalablement, il convient de s'assurer de la légalité des travaux projetés auprès des services de la DDT(M).

✓ Au préalable :

En cas de présence très importante de vase au sein de la retenue, il est conseillé de planifier une période de mise en assec du plan d'eau avant la suppression définitive. Il faut prévoir une période de 6 mois d'assec au minimum. En effet, l'installation de la végétation spontanée permettra d'assurer une minéralisation et un blocage physique de la vase. Le cas échéant, un export de la vase devra être envisagé (EPTB Vienne, 2010). Pour limiter le développement d'espèces envahissantes ou invasives, il peut être nécessaire d'effectuer un ensemencement afin de reconstituer rapidement la strate herbacée (Mc Donald *et al.*, 2018) voire un étrepape.

✓ Phase de vidange :

De manière générale, afin d'**éviter les pollutions de l'eau et des milieux aquatiques pendant les travaux**, il est recommandé d'adopter un comportement préventif (information des personnels sur les risques liés au rejet de MES et d'hydrocarbures dans l'eau) : éviter le stockage de matériel et matériaux à proximité des écoulements d'eau, s'interdire tout nettoyage de matériel dans l'eau du ruisseau. Le matériel utilisé sur le chantier devra être exempt de toute fuite (Mc Donald *et al.*, 2018).

La **période à privilégier** s'étend de Mai à Octobre et est à adapter selon les années, les conditions hydrologiques ainsi que le type de cours d'eau (salmonicole ou cyprinicole). Une analyse fine de l'hydrologie du bassin versant amont et de la pluviométrie permet de trouver la période la plus adaptée pour effectuer les travaux. Il faut éviter les périodes de fortes chaleurs ainsi que les étiages sévères.

Le curage des sédiments fins avant le début de la vidange peut être recommandé en cas de volume important de sédiments fins à l'amont immédiat de la digue. En effet, dans ce cas, le risque de transfert à l'aval est très fort. Il est nécessaire de préciser la destination de ces sédiments pour éviter tout dépôt en zones humides et/ou inondables.

La stabilisation partielle des sédiments fins peut également être recommandée (à l'aide de bois morts, fascines...). Pour des raisons de sécurité, il est pertinent de limiter l'accès durant toute la phase de stabilisation des vases (durant les hivers qui suivent, certaines zones stabilisées peuvent retrouver un caractère dangereux).

La vidange doit être lente et progressive afin de limiter au strict minimum le départ des sédiments. Elle doit ainsi s'étaler sur une longue période afin de laisser le temps à une partie des sédiments de se déposer et de permettre aux poissons d'éviter de se faire piéger dans la vase ou les végétaux. Si

les ouvrages de gestion rendent difficile l'atteinte de cet objectif, il est intéressant de réfléchir à des dispositifs ou des méthodes permettant la réalisation d'une vidange lente et progressive (dérivation provisoire, pompage, moine provisoire, siphon flottant...). Pour cette raison notamment, les plans d'eau en dérivation présentent une phase de vidange plus facile à gérer.

La phase ultime de la vidange (découverte des sédiments) nécessite une attention particulière et **doit être adaptée en fonction de l'évolution des conditions météorologiques**. En effet, lorsque la majeure partie des sédiments est exondée, ceux-ci seront fortement exposés à l'érosion en cas de pluies intenses (effet de ressuyage). La vidange d'un même étang peut ainsi conduire à des rejets 4 à 5 fois plus importants de MES et contaminants lorsque les sédiments sont érodés par la pluie (Banas *et al.*, 2016). Ainsi, si un épisode pluvieux majeur survient lors de cette phase, la vanne pourra être fermée temporairement (dans le cas où une dérivation a été prévue). Concernant cette phase ultime de la vidange, il est recommandé de ralentir le rythme de la vidange (5 à 10 cm/h).

Dans les cas présentant un risque de départ important de MES, il est recommandé de réaliser une dérivation provisoire du cours d'eau couplée à un ensemencement de la cuvette afin de limiter le lessivage. En cas de pompage, il est préférable de prélever les eaux de surface moins chargées en MES.

Afin de minimiser les impacts à l'aval, il est judicieux d'implanter des dispositifs de filtration à l'aval en s'assurant de la solidité et de l'efficacité des dispositifs (Barbey, 2010 ; Mc Donald *et al.*, 2018).

Par exemple, les eaux issues de la vidange peuvent être dirigées vers des **dispositifs temporaires de protection des points de rejet** réalisés à l'aide de tas de graviers/blocs (de tailles hétérogène et dénués de sédiments fins) (cf. figure 23). Pour rappel, ce dispositif ne remplace pas les dispositifs de traitements des sédiments.

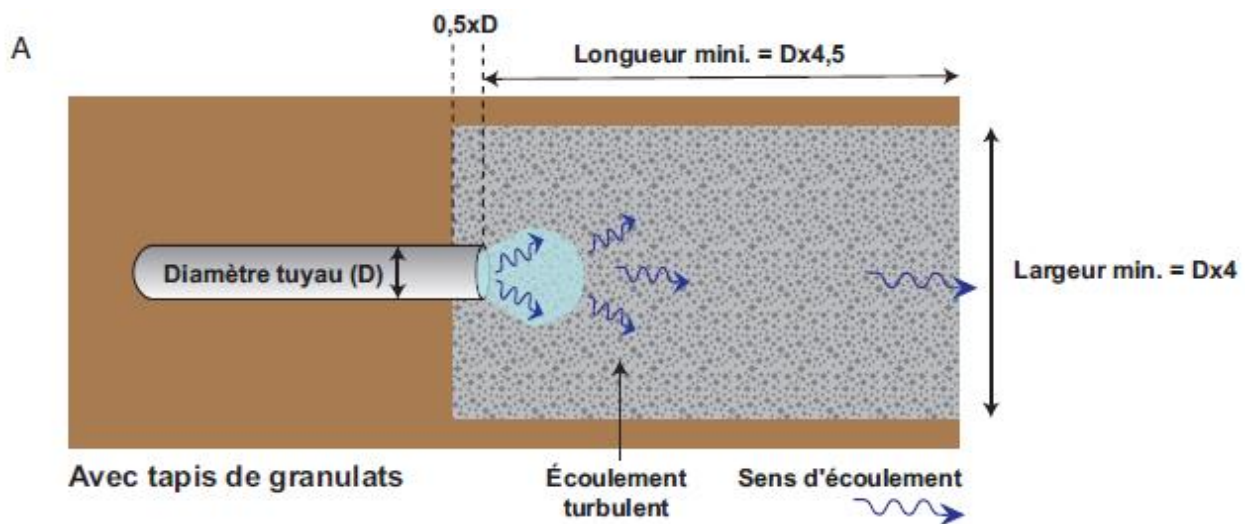


Figure 23 : Protection des exutoires avec tapis de granulats (Mac Donald *et al.*, 2018)

Dès que la concentration en MES augmente, il est nécessaire de rediriger les eaux de la vidange vers un **bassin provisoire de décantation afin de retenir les derniers m³** les plus chargés en sédiments fins. En effet, les bassins de décantation sont adaptés pour le traitement ultime des sédiments fins (MES) avant rejet dans le milieu récepteur. Ils facilitent la décantation en ralentissant les écoulements superficiels, en réduisant les turbulences hydrauliques et en stockant les eaux le plus longtemps possible afin de laisser le temps aux particules maintenues en suspension de sédimenter.

Les critères de dimensionnement de ces bassins sont précisés dans le guide chantier (Mc DONALD *et al.*, 2018).

En cas de milieux sensibles à l'aval, il est recommandé de prévoir 2 bassins permettant l'entretien de l'un pendant que l'autre fonctionne.

La pêche de sauvetage est fortement préconisée. Elle présente plusieurs intérêts :

- limiter les mortalités piscicoles durant la vidange,
- gérer les espèces invasives et / ou envahissantes,
- participer à une partie de l'état initial dans le cadre d'un suivi écologique.

✓ **Devenir de la digue :**

La suppression de la totalité de la digue est recommandée afin de restaurer les zones humides, de garantir la circulation des espèces aquatiques, de favoriser une évolution hydromorphologique optimale du cours d'eau, de limiter les risques de chute en cas de berges abruptes et enfin pour faciliter l'entretien.

Dans le cas d'une suppression partielle de la digue du plan d'eau et au vu des constats effectués dans le cadre de cette étude, il est **conseillé de réaliser une ouverture des digues sur une largeur d'environ 3** à 4 fois celle du cours d'eau avec une largeur minimum conseillée de 4 mètres pour les très petits cours d'eau. Ces recommandations de largeur semblent suffisantes pour veiller à éviter une remise en eau du plan d'eau par arrivée naturelle d'embâcles ou de manière volontaire afin de permettre au cours d'eau de retrouver son équilibre avec un tracé adapté. Elle doit également permettre le passage d'un engin en cas de mesures complémentaires à effectuer. Cette ouverture doit s'effectuer préférentiellement au point le plus bas de la digue, qui ne correspond pas systématiquement au lieu d'implantation des ouvrages de vidange. La réalisation d'une ouverture des digues en forme de trapèze semble plus intéressante que celle en carré (Durlet P. coord., 2009).

Il est essentiel **d'identifier le lieu adapté d'évacuation des matériaux** en fonction de leurs natures (ex : terre, pierre, béton). Il faudra veiller à ce que les différents lieux d'évacuation ne soient pas localisés en zones humides ou dans le lit majeur de cours d'eau.

✓ **Mesures complémentaires suite à la suppression du plan d'eau :**

En fonction des résultats du diagnostic, il peut être nécessaire dans certains cas de prévoir des **interventions sur le lit mineur et/ou le lit majeur** du nouveau cours d'eau.

- Reconstitution d'un lit majeur fonctionnel :

Si le talweg a été fortement modifié lors de la création du plan d'eau (« creusement de l'assiette »), il peut être nécessaire d'intervenir afin de **reconstruire un lit majeur fonctionnel**. Cette intervention nécessite une vigilance particulière afin de permettre au cours d'eau de déborder naturellement dans son nouveau lit majeur en choisissant une sinuosité adaptée à la pente du cours d'eau et à la forme de la vallée.

Les matériaux apportés devront être de nature à être rapidement colonisés par la végétation (terre végétale en surface, éviter les tassements par les engins en travaillant des berges si possible). **Les apports excessifs de matériaux sont à proscrire** puisqu'ils génèrent une perte de fonctionnalité des zones humides au sein de l'ancienne emprise du plan d'eau et sont susceptibles d'induire des phénomènes d'incision du cours d'eau du fait des difficultés de débordement.

- Restauration de l'hydromorphologie du cours d'eau :

La **restauration du cours d'eau et de la végétation au sein de l'ancien plan d'eau s'effectue naturellement dans la majeure partie des cas mais ce processus peut être relativement long.** Hasselquist *et al.* (2015) ont ainsi observé que la végétation riveraine avait besoin de 25 ans ou plus pour se rétablir après une perturbation. L'implantation rapide des premiers stades ligneux (ex : saule, bouleau) sur certains milieux nécessite de prévoir une gestion adaptée.

Dans les cas où des travaux hydrauliques anciens (ex : rectification, recalibrage, retraits du matelas alluvial et des blocs...) ont impacté le lit mineur du cours d'eau avant la création du plan d'eau, il peut être recommandé de prévoir une opération complémentaire de restauration de l'hydromorphologie du cours d'eau (cf. figure 24).



Figure 24 : Rectification ancienne sur le ruisseau de Landordu (Photo d'avril 2012, Syndicat du Scorff)

En effet, ces travaux anciens génèrent des conditions peu favorables pour un rétablissement optimal de la biodiversité (tracé trop rectiligne, faciès d'écoulement homogènes ...).

Le nouveau lit devra être dimensionné sur la valeur de la crue journalière de fréquence annuelle à biennale (Malavoi & Bravard, 2011) voir légèrement sous-dimensionné afin de favoriser les ajustements hydromorphologiques). Pour les cours d'eau de rang de Strahler 1 du Massif armoricain, le ratio de forme (H_{pb} sur L_{pb}) ne devra pas être inférieur à 1/3 (Bossis, 2014). Pour les cours d'eau de rangs supérieurs, il est suggéré de consulter les caractéristiques des sites de référence sur l'application CARHYCE.

Le facteur principal susceptible **de limiter la restauration naturelle du lit mineur** est un faible transport solide en provenance du bassin versant. Une solution appropriée à ce problème peut consister en l'apport d'un substrat diversifié (Durllet P. coord., 2009). La reconstitution du matelas alluvial peut être totale ou partielle (recréation de radiers, cf. figure 25). En cas de créations de

radiers, ces radiers devront être disposés tous les 4 à 6 fois la largeur à plein bord naturelle du cours d'eau (Brookes, 1988 ; Bossis, 2014). Les radiers ne devront pas présenter des pentes incompatibles avec le franchissement des espèces piscicoles présentes sur le cours d'eau étudié.

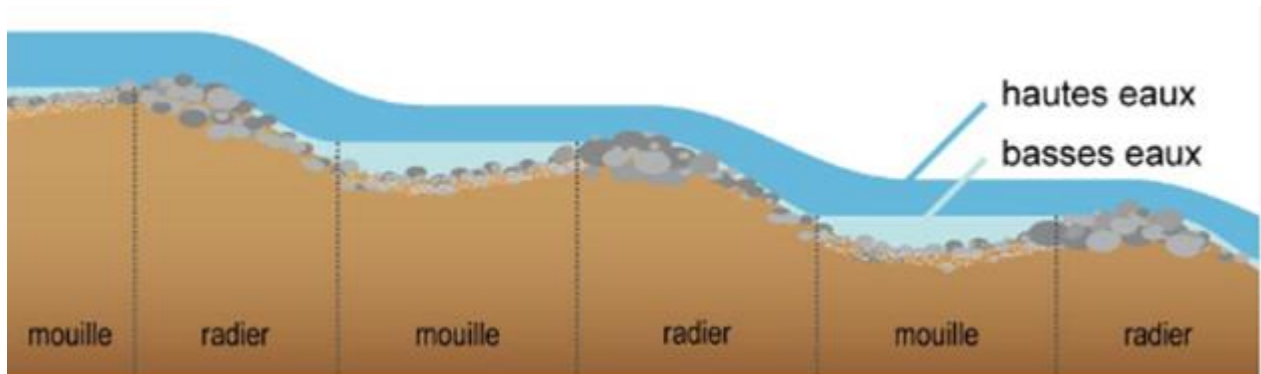


Figure 25 : Succession radier - mouille (© BIOTOPE pour AFB)

Il peut également être nécessaire de réintroduire dans le cours d'eau des blocs et/ou du bois en rivière afin de restaurer la diversité des habitats et des écoulements (Verdonschot *et al.*, 2016).

La réimplantation et l'entretien d'une ripisylve est recommandée en cas de doute sur sa reconstitution naturelle afin de stabiliser naturellement les berges du cours d'eau et de fournir de l'ombrage.

Si la réalisation d'un ouvrage de franchissement de cours d'eau s'avère nécessaire, il est recommandé de privilégier les ouvrages sans assise dans le fond du lit mineur (cf. figure 26). La pose de cet ouvrage doit respecter les prescriptions de l'APG du 13 février 2002 applicables aux opérations soumises à déclaration ayant un impact sensible sur la luminosité nécessaire au maintien de la vie et de la circulation aquatique dans un cours d'eau. La circulaire du 24 juillet 2002 indique qu'« **Ils doivent constituer des bases minimum de prescriptions pour les arrêtés d'autorisation** » : Cf. circulaire DE/SDGE/BPIDPFCCG/ n° 426 du 24 juillet 2002.

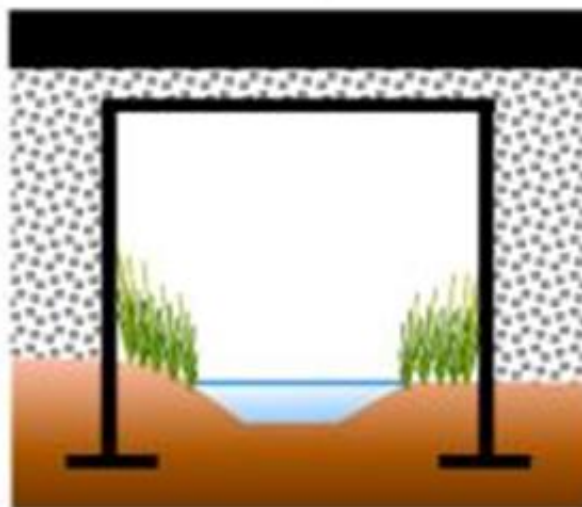


Figure 26 : Ouvrage sans assise dans le fond du cours d'eau (CETE & ONEMA, 2013)

III. Suivi

Au vu du faible nombre de suivi écologique mis en œuvre sur les plans d'eau étudiés, il apparaît essentiel de réfléchir à la mise en œuvre de suivis écologiques adaptés à chaque projet. Un recueil des données des suivis sera réalisé dans une étude complémentaire afin d'étudier les effets écologiques des suppressions de plans d'eau.

Un suivi doit permettre de caractériser l'évolution écologique du milieu et également d'identifier d'éventuels dysfonctionnements (exemple : érosion régressive, difficulté à reconstituer un substrat alluvial, persistance d'obstacle résiduel à la continuité écologique...) **nécessitant la mise en œuvre de mesures d'ajustement.**

Le suivi doit être prévu dès le début du projet afin d'avoir le temps de réaliser l'état initial avant l'opération de suppression.

En fonction des caractéristiques du projet, différents types de suivis pourront être mis en œuvre :

- suivi sociologique,
- suivi photographique,
- suivi thermique,
- suivi de la qualité d'eau à l'aval,
- suivi biologique,
- suivi de la continuité écologique,
- suivi hydromorphologique (profil en long, en travers, faciès d'écoulements, granulométrie...),
- ...

Le guide sur le Suivi Scientifique Minimal (SSM) apporte les éléments nécessaires à la construction d'un suivi écologique cours d'eau pour les projets importants (Malavoi & Souchon, 2010 ; Navarro *et al.*, 2012 ; Agence Française pour la Biodiversité, Non publié). Pour les autres projets, il est recommandé de consulter le guide, en cours de rédaction également, intitulé « Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques ».

Conclusion

La multiplication des créations de plans d'eau ces dernières décennies a entraîné des impacts significatifs cumulés sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques continentaux. Le changement climatique va accroître la pression sur le fonctionnement des cours d'eau et les espèces devront pouvoir circuler afin de se maintenir. Actuellement, la fragmentation du réseau hydrographique engendrée par les obstacles à la continuité est trop importante pour assurer le déplacement des espèces au rythme rapide des changements climatiques actuels (Devictor *et al.*, 2008 ; Isaak *et al.*, 2013, Comte et Grenouillet, 2013 ; in Baptist *et al.*, 2014).

Dans l'objectif d'atteindre le bon état écologique des masses d'eau et d'anticiper les effets du changement climatique, la suppression de plan d'eau constitue dans la plupart des cas une opération bénéfique, efficace et durable. En effet, cette opération est notamment de nature à améliorer la résistance de ces écosystèmes (ex : maintien d'une eau fraîche de bonne qualité le plus longtemps possible au sein du cours d'eau) ainsi que leurs résiliences (ex : faciliter la capacité de recolonisation du réseau hydrographique).

Ce retour d'expériences a permis d'identifier un ensemble de recommandations spécifiques aux différentes phases d'une suppression de plan d'eau (diagnostic, phase travaux, suivi). Elles seront amenées à être actualisées en fonction de l'évolution des connaissances, de nouveaux retours d'expériences ainsi que des résultats des suivis écologiques.

Pour chaque projet de suppression de plan d'eau, il est nécessaire de réaliser une étude appropriée afin d'identifier si la suppression est la solution adaptée et le cas échéant de définir précisément les modalités réglementaires et techniques de cette opération de restauration écologique.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

ARANGO, C.P., JAMES P.W. & HATCH K.B., 2015. Rapid ecosystem response to restoration in an urban stream. *Hydrobiologia*, **749**, 197-211.

AGENCE FRANCAISE POUR LA BIODIVERSITE, 2018. Eléments de réponse à certains arguments contradictoires sur le bien-fondé du maintien et de la restauration de la continuité écologique des cours d'eau. Note du Conseil Scientifique de l'AFB. 5 pages.

AGENCE FRANCAISE POUR LA BIODIVERSITE,- 2017. REFMADI, rubriques plan d'eau, en cours de réalisation.

ARS, 2017, La qualité des eaux de baignade en Bretagne en 2016, disponible sur <https://www.bretagne.ars.sante.fr/la-qualite-des-eaux-de-baignade-en-bretagne> (consulté le 2 Février 2018).

BANAS, 2001, Flux de matière en étangs piscicoles extensifs : rétention, sédimentation, exportation. Thèse de doctorat Université de Metz, 274 pages.

BANAS, 2002. Discharge of sediments, nitrogen (N) and phosphorus (P) during the emptying of extensive fishponds : effect of rain-fall and management practices. *Hydrobiologia*, **472**, 29-38.

BANAS D., MASSON G., LEGLIZE L., USSEGLIO-POLATERA P. & BOYD C.E., 2008. Assessment of sediment concentration and nutrient loads in effluents drained from extensively managed fishponds in France. *Environmental Pollution*, **152**, 679-685.

BANAS D., 2016. L'étang de barrage : atout ou contrainte pour le bon état des eaux. *Etangs*. **3** : 2-3.

BAPTIST F., POULET N. & SEON-MASSIN N., 2014. Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation. *Onema. Collection Comprendre pour agir*. 128 pages.

BARBEY B., 2010. Protection des ruisseaux salmonicoles, étude et tests de filtration et de décantation des eaux de vidange de l'étang de rongères (36). Rapport de la FDAAPPMA36. 76 pages.

BECHTEL, 2017. Restauration de cours d'eau, Cadre réglementaire. Présentation AFB, 54 pages.

BERNHARDT, E.S., PALMER, M.A., ALLAN, J.D., ALEXANDER, G., BARNAS, K., BROOKS, S., CARR, J., CLAYTON, S., DAHM, C., FOLLSTAD-SHAH, J., GALAT, D., GLOSS, S., GOODWIN, P., HART, D., HASSETT, B., JENKINSON, R., KATZ, S., KONDOLF, G.M., LAKE, P.S., LAVE, R., MEYER, J.L., O'DONNELL, T.K., PAGANO, L., POWELL, B., SUDDUTH, E., 2005. Synthesizing US river restoration efforts. *Science*, **308**, 636-637.

BOSSIS M., 2014. Étude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant armoricains en situation de référence. Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 19 pages + Annexes.

BOUNI C., 2013. Comment développer un projet ambitieux de restauration d'un cours d'eau ? Retours d'expériences en Europe, un point de vue des sciences humaines et sociales. Onema, 28 pages.

BOUTET-BERRY L., 2000. La problématique plan d'eau. Conseil Supérieur de la Pêche, Rapport du Conseil Supérieur de la Pêche, 35 pages.

BOYD C.E. & GROSS A., 1998. Water use and conservation for inland aquaculture ponds. Eifac. Tech. Pap., E10, 12 pages.

BRAMARD M. BOUTET-BERRY L., ARSENTO R., BRAMARD C., MARTIN M. & BARDON E., 2010. La recharge en granulats premiers retours d'expériences sur les travaux menés dans le Centre-Ouest de la France sur des petits cours d'eau. Support pédagogique stage « restauration petits cours d'eau de plaine », Version ONEMA Dir-Orléans-Poitiers MB-15-05-2010, 57 pages.

BROOKES A., 1988. Rivers channelization, Perspectives for environmental management. *Wiley interscience*, 326 pages.

CATER DE NORMANDIE, 2018. La Recharge en Granulats, une technique souple et rapide pour la restauration des petits cours d'eau, 16 pages. Disponible sur <https://www.cater-normandie.fr/fichiers/mediatheque/documents/La-Recharge-en-Granulats-CATER.pdf>

CETE & ONEMA, 2013. Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques, Cas de la faune piscicole. Note d'information SETRA. 25 pages.

COMTE L., BUISSON L., DAUFRESNE M. & GRENOUILLET G., 2013. Climate-induced changes in the distribution of the freshwater fish. *Freshwater Biology*, **58**, 625-639.

DEVICTOR V, JULLIARD R, COUVET D, JIGUET F. 2008, Birds are tracking climate warming, but not fast enough, *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, **275**, 2743-2748.

DOYLE M.W., STANLEY E.H. & HARBOR J.M., 2003. Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. *Water Resources Research*, 39 (1), art. no.-1011.

DURLET P. coord., 2009. Eléments techniques pour la préservation des ruisseaux. PNRM / ONF / ADAPEMONT / PNRHJ. LIFE04NAT/FR/000082. 80 pages.

ETABLISSEMENT PUBLIC DU BASSIN DE LA VIENNE, 2010. Gestion des étangs : l'effacement, une solution à envisager.

GAILLARD, 2014. Rôle des étangs de barrage à vocation piscicole dans la dynamique des micropolluants en têtes de bassins versants. Thèse Université de Lorraine, 225 pages.

GAILLARD J., THOMAS M., LAZARTIGUES A., BONNEFILLE B., PALLEZ C., DAUCHY X., FEIDT C. & BANAS D., 2016. Potential of barrage fish ponds for the mitigation of pesticide pollution in streams. *Environ Sci. Pollut. Res.*, **23**, 23-35.

GIGLEUX, M., 1992. Le développement phytoplanctonique dans la Moselle en aval de Metz et dans la Seille. Thèse Univ. Metz : 147 pages.

GORON E., 2012. Enterrement des cours d'eau en tête de bassin versant : quelles voies réglementaires pour arriver à des remises à ciel ouvert et comment anticiper le risque d'enterrement ? Rapport de stage M2, Université d'Aix Marseille, 50 pages.

HASSELQUIST E.M., NILSSON C., HJÄLTÉN J., JØRGENSEN D., LIND L. & POLVI L.E., 2015. Time for recovery of riparian plants in restored northern Swedish streams : a chronosequence study. *Ecol Appl*, **25** : 1373-89.

IIBS (INSTITUTION INTERDÉPARTEMENTALE DU BASSIN DE LA SARTHE), 2016. Guide plan d'eau, 15 pages et fiches annexes.

ISAAK DJ, RIEMAN BE. 2013. Stream isotherm shifts from climate change and implications for distributions of ectothermic organisms. *Global Change Biology*, **19**, 742-751.

JÄHNIG, S.C., BRABEC, K., BUFFAGNI, A., ERBA, S., LORENZ, A.W., OFENBÖCK, T., VERDONSCHOT, P.F.M., HERING, D., 2010. A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers. *J. Appl. Ecol.*, **47**, 671-680.

KONDOLF, G. M., 1997. Hungry water : effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, **21** : 533-551.

LE BIHAN, 2012. Comment évaluer les incidences d'une modification artificielle de la ligne d'eau d'un cours d'eau sur les zones humides périphériques ? Rapport ONEMA, 38 pages.

LE LOUARN, H. & G. BERTRU, 1991. Influence des élevages extensifs en étang sur les rivières, *Revue des Sci. Eau*, **4**, 315-327.

ADAM P., DEBIAIS N. & MALAVOI J.R., 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau, Biotec / Agence de l'Eau Seine-Normandie, 64 pages. Disponible sur http://www.eaufrance.fr/IMG/pdf/01Manuel_restoration.pdf

MALAVOI J.R. & SALGUES D., 2011. Suppression et dérasement de seuils, Aide à la définition de Cahier des Charges pour les études de faisabilité, Compartiments hydromorphologie et hydroécologie. ONEMA / CEMAGREF, 83 pages.

MALAVOI & SOUCHON, 2010. Construire le retour d'expérience des opérations de restauration hydromorphologique, éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal, volets hydromorphologie – hydroécologie. Version 1 au 29/05/2010. Rapport ONEMA / CEMAGREF, 95 pages.

MC DONALD D., DE BILLY V. & GEORGES N., 2018. Bonnes pratiques environnementales. Cas de la protection des milieux aquatiques en phase chantier : anticipation des risques, gestion des sédiments et autres sources potentielles de pollutions des eaux. Collection Guides et protocoles. Agence française de la biodiversité. 148 pages.

MORRIS G.L. & FAN J., 1998. Reservoir Sedimentation Handbook. McGraw-Hill Book Co., New York, 805 pages.

NAVARRO L., PERESS J. & MALAVOI J.R., 2012. Aide à la définition d'une étude de suivi - recommandations pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau. AERMC/ONEMA/IRSTEA, 48 pages.

ONEMA, 2018. Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie des cours d'eau, ONEMA, MEEDDM, agences de l'eau (<http://www.onema.fr/Hydromorphologie,510>).

OERTLI B., 2013, Des milieux répandus et diversifiés mais en raréfaction. In Mares et étangs : Ecologie, conservation, gestion, valorisation (Chapitre I), Oertli B., Froissard P.A, Editions Presses Polytechniques Romandes, 21/03/2013, 512 p.

PALMER, M.A., MENNINGER, H., BERNHARDT, E.S., 2010. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity : a failure of theory or practice ? *Freshw. Biol.*, **55**,205–222.

PERCHET, 2016. Synthèse, Projets de suppression de l'impact des plans d'eau sur le milieu aquatique : département de la Mayenne (53), Syndicat de bassin pour l'aménagement de la rivière Oudon. 37 pages.

PINAY G., GASCUEL C., MÉNESGUEN A., SOUCHON Y., LE MOAL M. (COORD), LEVAIN A., MOATAR F., PANNARD A., SOUCHU P., 2017. L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea (France), 148 pages.

POIREL A., VINDIMIAN E. & GARRIC J., 1994. Gestion des vidanges de réservoirs, mesures prises pour préserver l'environnement et retour d'expérience sur une soixantaine de vidanges. 18^{ème} Congrès des Grands Barrages, Commission Internationale des Grands Barrages, Q.69-R.9. Durban 1994, 321-349.

REYJOL YORICK, SPYRATOS VASSILIS, BASILICO LAURENT, 2012. Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques - Perspectives en vue du 2 e cycle DCE – Eaux de surface continentales - Synthèse des journées « DCE et bioindication » du séminaire « Méthodes d'évaluation de l'état des eaux – Situation et perspectives dans le contexte de la directive cadre sur l'eau ». Paris 19 et 20 avril 2011, complétée des réflexions du groupe de travail DCE-ESC durant l'année 2012. ISBN : 979-10-91047-12-8.

RIVIERE-HONEGGER A., COTTET M. ET MORANDI B. (COORDS.), 2014. Connaître les perceptions et les représentations : quels apports pour la gestion des milieux aquatiques ? Paris, Onema, coll. « Comprendre pour agir », 180 p.

SAGE BLAVET. Un si bel étang ... et si on regardait de plus près ... Brochure.

SAGE BLAVET, 2018. Règlement du SAGE, disponible sur <http://www.sage-blavet.fr/> (consulté le 10/04/2018).

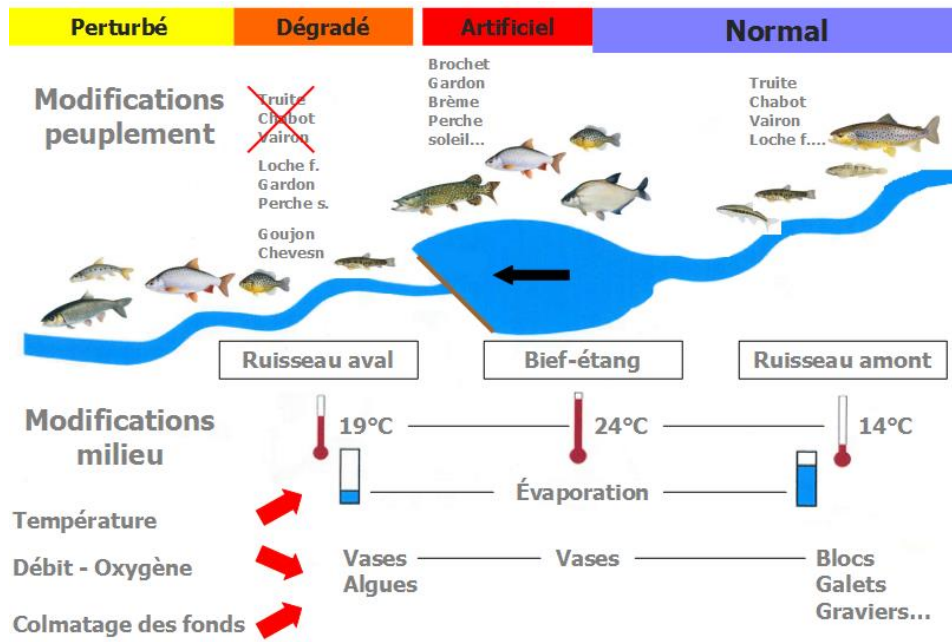
SCHWARTZ, M. F. & C. E. BOYD, 1994. Effluent quality during harvest of channel catfish from watershed ponds. *Prog. Fish. Cult.* **56** : 25–32.

TOUCHART L. & BARTOUT P., 2011. La gestion du risque thermique en étang : le cas de la dérivation. *Riscuri si catastrofe*, Vol 9, N° 1, 14 pages.

TRINTIGNAC P. & KERLEO V., 2004. Impacts des étangs à vocation piscicole sur l'environnement. Etude de synthèse bibliographique, Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la pêche en Pays de la Loire, 68 pages.

VERDONSCHOT R.C., KAIL J., McKIE B.G., VERDONSCHOT F.M., 2016. The role of benthic microhabitats in determining the effects of hydromorphological river restoration on macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, **769** : 55.

ANNEXE A :



(Vigneron, 1999)

ANNEXE B : Liste des plans d'eau étudiés

Département	Commune	Nom du cours d'eau	Ordre Strahle	Code ROE	Type de plan	Superficie (m ²)
56	Kernascléder	Scorff	4	ROE40348	en barrage	140000
56	Baud	affluent Evel	1	NON	en barrage	400
56	Hennebont	affluent Blavet	1	NON	en barrage	950
56	Hennebont	affluent du Blavet	3	NON	en barrage	1000
56	Bubry	Le Brandifrou	1	NON	en barrage	1100
56	Chapelle Neu	affluent Tarun	3	NON	en barrage	1100
56	Guénin	ruisseau de Telléné (BV Tarun)	2	NON	en dérivation	1189
56	Quistinic	affluent du Blavet	1	NON	en barrage	250
56	Quistinic	affluent du Blavet	1	NON	en dérivation	1700
56	Saint Barthé	Le Roffol	1	NON	en dérivation	1600
56	Baud	affluent du Roffol	1	NON	en dérivation	1750
56	Bubry	affluent du Brandifrou	1	NON	en barrage	1830
56	Bubry	affluent du Brandifrou	1	NON	en barrage	1970
56	Baud	affluent Roffol	1	NON	en dérivation	2000
56	Quéven	affluent du Scave (ruisseau de Kerrousseau)	2	ROE32924	en barrage	6000 et 6500
56	Berric	la Drayac	1	NON	en barrage	2150
56	Ambon	ruisseau de Trémeret	1	NON	en barrage	2300
56	Josselin		2	NON	en barrage	2500
56	Ploemeur	Le Ter	2	ROE83312	en barrage	2600
56	Pluméliau	affluent du ruisseau du Rhun	2	NON	en barrage	2838
56	Moustoir-Ren	source affluent du Rhun	1	NON	sur source	3500
56	Lanouée	affluent du Crasseux	1	NON	sur source	3538
56	Pluvigner	Moulin Castellin	1	NON	en barrage	3665
56	Chapelle-Neu	Affluent du Tarun	2	NON	sur source	3750
72	Neufchâtel-en-Saosnois		1	NON	en barrage	moins de 100
72	Sablé-sur-Sa	Vaige	6	NON	en barrage	8156
72	Changé		2	ROE56522	en barrage	9000
35	Crévin	Ruisseau de la Feuvelais	1	NON	en barrage	11587
35	Lalleu	Ruisseau des Orgeries	2	NON	en barrage	900
35	Cesson-Sévi	sans nom	1	NON	en barrage	913
53	Saint-Berthev	Le Vicoin	3	ROE17008	en barrage	22397
53	Javron-les-Ch	L'Aisne	4	NON	en barrage	26647
53	Montsûrs	La Jouanne	5	ROE6180	en barrage	126839
29	Bodilis	Penguilly	4	ROE56471	en barrage	6350
56	Trédion	sans nom	1	NON	en barrage	1200
49	Chalonnnes-su	Le Layon	4	ROE8507	en barrage	113 000
49	Nueil-sur-Lay	Le Layon	4	ROE42349	en barrage	11000
49	Valanjou	La Frapinière	2	ROE89864	en barrage	
49	Vihiers	Le Lys	4	ROE42648	en barrage	17000
35	Acigné		4	ROE22646	en dérivation	10300
35	Brielles	Crossonnière	1	NON	en barrage	1800

ANNEXE C : Fiche terrain (1/2)

AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITÉ		FICHE SUPPRESSION DE PLAN D'EAU	
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT		V1.2. au 10/02/2018	
LOCALISATION			
Département :		Commune :	
Lieu-dit :		Nom du cours d'eau :	
Code ROE :		Nom du plan d'eau :	
N (WGS84) :		E (WGS84) :	
Usages avant suppression :	<input type="checkbox"/> Aucun usage <input type="checkbox"/> Alimentation en eau potable <input type="checkbox"/> Energie et hydroélectricité <input type="checkbox"/> Loisirs et sports aquatiques <input type="checkbox"/> Sécurité des biens et des personnes <input type="checkbox"/> Transports et soutien de navigation <input type="checkbox"/> Autres :		
Données techniques			
Données administratives			
Date de création :		Présent sur carte de cassini :	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Type autorisation administrative en vigueur :	<input type="checkbox"/> aucune existence légale <input type="checkbox"/> existence légale D ou A (Date :) <input type="checkbox"/> fondé en titre		
Propriétaire :			
Usages avant suppression :	<input type="checkbox"/> Aucun usage <input type="checkbox"/> Alimentation en eau potable <input type="checkbox"/> Energie et hydroélectricité <input type="checkbox"/> Loisirs et sports aquatiques <input type="checkbox"/> Irrigation <input type="checkbox"/> Sécurité des biens et des personnes <input type="checkbox"/> Transports et soutien de navigation <input type="checkbox"/> Autres :		
Données techniques			
Type de plan d'eau	<input type="checkbox"/> en barrage <input type="checkbox"/> en dérivation <input type="checkbox"/> sur source <input type="checkbox"/> par ruissellement		
Superficie (m ²) =		Distance à la source (km) =	
Pente du cours d'eau (%) =		Ordre de Strahler =	
Niveau de remplissage en sédiments :	<input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyen <input type="checkbox"/> important <input type="checkbox"/> très important		
Volume de sédiments (m ³) =			
Type de sédiments :	<input type="checkbox"/> vase <input type="checkbox"/> argile <input type="checkbox"/> limon <input type="checkbox"/> sable		
Analyse de la toxicité des vases :	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		
Contexte de l'opération			
Occupation des sols :	<input type="checkbox"/> culture <input type="checkbox"/> forêt naturelle <input type="checkbox"/> forêt "industrielle" <input type="checkbox"/> prairie fauchée <input type="checkbox"/> prairie pâturée <input type="checkbox"/> urbain <input type="checkbox"/> zones humides		
Origine de la suppression :	<input type="checkbox"/> action Contrat Territorial <input type="checkbox"/> mise en conformité <input type="checkbox"/> mesure compensatoire <input type="checkbox"/> Autres :		
Cadre de l'opération :			
Objectifs :			
Modalités techniques de la suppression			
Année de la suppression :		Mois de l'année :	
Mode de gestion des sédiments :	<input type="checkbox"/> laissés sur place <input type="checkbox"/> exportés		
Pêche de sauvetage	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		
Dispositifs de filtration	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non si oui, précisez :		
Imprévus de réalisation	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non si oui, précisez :		
Recommandations techniques :			

ANNEXE C : Fiche terrain (2/2)

Gestion du milieu post suppression					
Apports de matériaux pour reconstituer la cuvette : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non					
Ensemencement	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	si oui, précisez :			
Intervention sur lit mineur	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	si oui, précisez :			
Ripisylve	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	si oui, précisez :			
Fauche	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	si oui, précisez :			
Mesure d'ajustement	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	si oui, précisez :			
Vitesse de reprise de la végétation (semaines) :					
Recommandations techniques :					
Type de suivis					
Mise en place d'un suivi : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non					
<input type="checkbox"/> Photographique <input type="checkbox"/> Biologique (macroinvertébré) <input type="checkbox"/> Biologique (poisson) <input type="checkbox"/> Biologique (macrophytes)					
<input type="checkbox"/> Hydromorphologique (précisez :))					
Etat du lit mineur après suppression					
Profil en travers : <input type="checkbox"/> naturel <input type="checkbox"/> sous-dimensionné <input type="checkbox"/> sur-dimensionné					
Sinuosité : <input type="checkbox"/> naturelle <input type="checkbox"/> limité <input type="checkbox"/> rectiligne					
Reconstitution du matelas alluvial : <input type="checkbox"/> totale <input type="checkbox"/> partielle <input type="checkbox"/> absence					
Bénéfice					
Linéaire de cours d'eau (m) =		Surface zones humides (m ²) =			
Surface zone inondable (m ²) =					
Continuité écologique : <input type="checkbox"/> rétablissement totale <input type="checkbox"/> rétablissement partiel <input type="checkbox"/> absence					
d'amélioration / Evaluation ICE : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non					
Evaluation du coût					
Diagnostic	Pêche de sauv	Suppression	Accompagn.	Suivi	Total
Vision des acteurs					
<input type="checkbox"/> absence d'information					
Propriétaires :					
Collectivités :					
Exploitants :					
Riverains :					
Pêcheurs :					
Remarques					
Sources des données					
Contacts :					
Référence bibliographique :					