

Arasement et dérasement de seuils

*Aide à la définition de Cahier des Charges
pour les études de faisabilité
Compartiments
hydromorphologie et
hydroécologie*

Rapport V0

*Jean-René Malavoi , Damien Salgues
Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema Cemagref Lyon*

Février 2011



Contexte de programmation et de réalisation

Eléments techniques pour la mise en œuvre du programme de restauration de la continuité écologique au titre de la DCE (annexe 5 de la Directive), du Grenelle de l'Environnement, des SDAGEs, de l'article L 214-17 du Code de l'Environnement.

Les auteurs

Jean-René Malavoi
Expert Hydromorphologue
jean-rene.malavoi@onema.fr
Damien Salgues
Chargé de mission seuils
Pôle Etudes & Recherche "Hydroécologie des cours d'eau" Onema-Cemagref

Les correspondants

Onema : *Véronique Nicolas DAST veronique.nicolas@onema.fr*

Cemagref : *Yves Souchon yves.souchon@cemagref.fr*

<i>Droits d'usage :</i>	accès libre
<i>Couverture géographique :</i>	France
<i>Niveau géographique :</i>	National
<i>Niveau de lecture :</i>	Professionnels, experts
<i>Nature de la ressource :</i>	Document

Arasement et dérasement de seuils

Rapport final

Jean-René Malavoi, Damien Salgues

SOMMAIRE

1	Détermination des effets liés à l'ouvrage.....	7
1.1	Effet flux.....	7
1.2	Effets retenue	8
1.3	Effet point dur.....	10
2	Evaluation des effets positifs d'un arasement/dérasement	11
3	Détermination des risques éventuels liés à un arasement/dérasement	12
3.1	Érosion régressive.....	13
3.2	Réactivation de l'érosion latérale en amont, le long des berges de l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide	18
3.3	Sur-alluvionnement en aval.....	19
3.4	Affaissement de la nappe d'accompagnement en amont.....	21
3.5	Remise en cause de l'équilibre écologique mis en place en amont depuis l'installation du seuil	22
3.6	Médiocre qualité d'habitat sur les cours d'eau ayant subi une chenalisation (recalibrage, rectification)	22
3.7	Mortalité d'une partie de la ripisylve dont les racines seront exondées	23
3.8	Remplacement d'un paysage de « plan d'eau » par un paysage de cours d'eau naturel ..	23
3.9	Réduction du volume de zones refuges pour les poissons en étiage sévère	24
3.10	Déformations géotechniques des bâtiments situés le long de l'ancienne retenue	25
3.11	Modification des peuplements biologiques.....	26
3.12	Modification des processus physico-chimiques	26
4	Synthèse du contenu possible d'une étude de faisabilité compartiments hydromorphologie-hydroécologie	27
4.1	Diagnostic des effets de l'ouvrage sur le fonctionnement du cours d'eau	27
4.2	Evaluation des effets positifs attendus D'un arasement/dérasement	29
4.3	Détermination des risques d'un arasement/dérasement.....	29
5	Fiches bibliographiques.....	32
	Fiche n°1 Risque d'érosion régressive	32
	Fiche n°2 Réactivation de l'érosion latérale en amont, dans l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide	40
	Fiche n°3 Risque de sur-alluvionnement en aval	45

Fiche n°4 Abaissement de la nappe d'accompagnement en amont	50
Fiche n°5 Remise en cause de l'équilibre écologique mis en place depuis l'installation du seuil	52
Fiche n°6 : Médiocre qualité d'habitat sur les cours d'eau ayant subi une chenalisation	55
Fiche n°7 :Mortalité de la ripisylve aux racines exondées	57
Fiche n°8 : Suppression d'un paysage de « plan d'eau » - Impact sociologique	59
Fiche n°9 : Réduction du volume de zones refuges pour les poissons en étiage sévère.....	64
Fiche n°10 : Déformation géotechniques des bâtiments le long de l'ancienne retenue	66
Fiche n°11 : Qualité d'habitat et faune aquatique après arasement	67
Fiche n°12 Modification des processus physico-chimiques	77

Arasement et dérasement de seuils

Jean-René Malavoi, Damien Salgues

Résumé

Un projet d'arasement ou de dérasement de seuil doit s'accompagner, en fonction de sa situation et des enjeux concernés, d'une étude de faisabilité permettant de passer en revue les conséquences potentielles de cette opération et de vérifier si le projet est techniquement réalisable.

Un certain nombre d'éléments doivent être pris en compte qui permettront de déterminer les avantages et les inconvénients du projet considéré, que ce soit au niveau du fonctionnement hydromorphologique et écologique du cours d'eau, mais également du point de vue sociétal et des services rendus par les écosystèmes. Le présent rapport dresse un inventaire des éléments à prendre en compte préalablement à une opération d'arasement ou de dérasement.

Mots clés (thématique et géographique)

Arasement, dérasement, seuils, hydromorphologie, cours d'eau

Arasement et dérasement de seuils

Jean-René Malavoi, Damien Salgues

ATTENTION : ce document traite principalement du cas des **seuils**, c'est à dire des petits ouvrages transversaux qui ne barrent que le lit mineur, au maximum jusqu'à son niveau de pleins bords. Ces ouvrages sont donc généralement d'une hauteur totale inférieure à 5 m. Le cas des **barrages** (ouvrages qui barrent plus que le lit mineur et créent une retenue dans le fond de vallée) est plus complexe même si la plupart des aspects de l'effacement exposés ici peuvent être repris dans le cas des barrages. D'autre part, ce document ne traite pas des aspects sociologiques et économiques qui devraient théoriquement être analysés eux aussi très en amont du projet.

Une étude de faisabilité d'un projet d'arasement (abaissement partiel) ou de dérasement (suppression totale, on parle aussi d'effacement) de seuil a pour objectif principal de vérifier que le projet est techniquement réalisable. Cette étude doit aussi permettre :

- De déterminer précisément les **effets** (pas seulement négatifs) de l'ouvrage (ou de la série d'ouvrages) sur le fonctionnement hydromorphologique et écologique du cours d'eau.
- D'évaluer de manière objective les **avantages** et les **inconvénients** d'un arasement ou d'un dérasement vis à vis de ce fonctionnement et si besoin proposer des solutions alternatives ou des mesures réductrices.

NB : une étude de faisabilité n'est pas nécessaire pour tous les projets. Si l'effacement d'un seuil de 1 m de chute en zone forestière sans enjeu socio-économique majeur ne nécessite pas ce type de d'étude, il est évident que le dérasement d'un ouvrage de 3 m en pleine ville devra être précédé d'une étude de faisabilité très poussée.

1 Détermination des effets liés à l'ouvrage

Les effets des seuils peuvent être déclinés en 3 grandes catégories (Malavoi, AREA, 2003) : effet flux, effet retenue, effet point dur. L'étude préalable doit permettre de déterminer si ces effets sont présents sur le site étudié et, dans ce cas, les quantifier.

1.1 Effet flux

1.1.1 FLUX LIQUIDES

- **Augmentation de la fréquence et/ou de la durée des débordements** : Dans le cas de seuils fixes ou de vannes fermées, les débordements à l'amont sont parfois plus fréquents en cas de crue, avec un rôle écrêteur qui reste néanmoins à démontrer, en particulier dans le cas d'ouvrages isolés.

L'augmentation des fréquences et/ou durée d'inondation peut parfois être intéressante d'un point de vue écologique en permettant une meilleure connectivité du lit mineur avec les milieux naturels du lit majeur les annexes hydrauliques, lorsqu'elles existent.

Par contre l'impact est négatif lorsque les inondations concernent des zones urbanisées.

- **Augmentation du temps de transfert** : Ils sont augmentés quand les biefs sont fermés, ce qui est quasiment toujours le cas aujourd'hui (mais ne l'était pas à l'époque où les seuils avaient un usage économique). La cinétique d'épuration est modifiée sans que l'on sache réellement aujourd'hui si les conséquences sont positives ou négatives sur la qualité de l'eau.

1.1.2 FLUX SOLIDES

- **Piégeage des sédiments grossiers** : La grande majorité des ouvrages transversaux, quel que soit le type de cours d'eau, bloquent une fraction importante, voire totale, de la charge alluviale grossière de fond. Cet effet de piégeage perdure en général jusqu'à ce que le seuil soit plein et devienne « transparent » au transport solide, c'est à dire que ce dernier passe intégralement par dessus le seuil. La capacité du lit se réduit en queue de retenue, augmentant

souvent la fréquence des débordements. Ces alluvions grossières vont manquer à l'aval entraînant généralement une érosion progressive et une incision du lit mineur.

Ces phénomènes sont plus marqués dans les cours d'eau à dynamique active et à forte puissance. La disparition à plus ou moins long terme du substrat alluvial en aval de l'ouvrage va pénaliser le fonctionnement écologique car il constitue un habitat privilégié pour de nombreuses espèces des biocénoses aquatique et ripariales.

- **Accumulation de sédiments fins** : Le piégeage puis l'accumulation des sédiments fins dans les retenues de seuils se traduisent généralement par un changement radical des biocénoses aquatiques : remplacement du cortège d'espèces (invertébrés, végétaux, poissons) caractéristiques de substrats grossiers par un cortège caractéristique de substrats fins et généralement très organiques, que l'on trouve d'habitude dans les parties très aval des cours d'eau.

1.1.3 FLUX BIOLOGIQUES

L'effet d'un seuil sur les flux biologiques fait appel à une notion de franchissabilité pour une espèce donnée (amontaison et dévalaison).

Les ouvrages hydrauliques ont un effet flux drastique sur les grands migrateurs, qui ont d'ailleurs disparu de la majeure partie des bassins français au cours du 19ème siècle. Cet effet est important aussi sur les espèces holobiotiques, pour la plupart « migratrices d'eau douce » (truite fario pour l'exemple le plus commun), pour lesquelles les obstacles posent des problèmes de « cloisonnement » des milieux, et, dans certains cas (truite fario, brochet...), d'accès aux zones de reproduction.

1.2 Effets retenue

- **Modification des faciès naturels** : Les seuils et barrages engendrent à leur amont un remous liquide plus ou moins long (fonction de la pente du cours d'eau et de la hauteur de l'ouvrage) à l'origine de faciès d'écoulement lenticques et profonds en lieu et place des séquences naturelles de faciès, naturellement diversifiées (radiers, plats, mouilles etc., Malavoi, 1989). Au niveau biologique, on observe généralement un remplacement des biocénoses naturelles par des biocénoses inféodées aux courants lents et aux fortes profondeurs.

NB : ce remous liquide peut ne plus exister si le seuil est totalement rempli
Arasement dérasement de seuils, J.R.Malavoi, D.Salgues

d'alluvions (notamment en zone de montagne à forts apports en charge de fond, voir Figure 1 : exemples de seuils en grande partie transparents vis à vis du débit solide grossier (photos Malavoi)).

- **Blocage des processus d'érosion latérale** : La dynamique fluviale est fortement réduite par l'effet d'équilibre hydrostatique entre le cours d'eau et la nappe alluviale en crue. Les processus naturels d'érosion latérale sont beaucoup moins intenses (ce qui peut être perçu comme un avantage pour les riverains) entraînant une réduction de la recharge alluviale et une plus grande stabilité des milieux naturels fluviaux, habituellement fréquemment renouvelés, notamment sur les cours d'eau à dynamique active.
- **Réchauffement de l'eau en été** : les retenues de seuils favorisent le réchauffement de l'eau en étiage et aggravent les effets de l'eutrophisation. Il n'est pas rare d'observer une augmentation de la température de l'eau de 3 à 5 degrés entre l'amont et l'aval d'une retenue de seuil en plein été. Le brassage mécanique et l'oxygène dissous diminuent. L'augmentation des profondeurs et la réduction des vitesses dans la retenue créée par l'ouvrage se traduisent le plus souvent par une modification du peuplement autochtone : seules les espèces mieux adaptées aux températures plus élevées et au milieu lentique se maintiennent. Les peuplements piscicoles sont notamment très affectés par le changement des régimes thermique :
 - les espèces rhéophiles¹ sont fortement défavorisées,
 - à l'inverse les espèces de milieux lenticques, telles que certains des Cyprinidés lénitiques, sont favorisées par un cours d'eau présentant une succession de chenaux lenticques dont les eaux lentes se réchauffent facilement.
- **Modification des relations nappe/rivière** : Les effets de retenue se font également parfois sentir au niveau de la nappe d'accompagnement, si la retenue présente des berges et un fond perméable : le niveau de la nappe

¹ Espèces rhéophiles : appréciant les fortes vitesses, par opposition à espèces lénitophiles.
Arasement dérasement de seuils, J.R.Malavoi, D.Salgues

augmente et reste stable longtemps, ce qui peut favoriser la création de zones humides dans le lit majeur. Il semble cependant que pour être réellement intéressantes, ces zones humides doivent être soumises à une fluctuation saisonnière de la nappe, ce qui fut peut être le cas lorsque les seuils avaient un usage mais ne l'est plus que très rarement aujourd'hui.

NB : l'augmentation du niveau de la nappe en amont de l'ouvrage n'est pas systématique, soit du fait de l'étanchéification volontaire du bief par le constructeur initial (qui ne voulait pas perdre d'eau), soit par colmatage naturel au fil du temps.

1.3 Effet point dur

En réduisant l'intensité des processus naturels d'érosion latérale dans l'emprise de la retenue, les seuils et barrages sont un **point de blocage local de la dynamique fluviale** qui perturbe les processus d'équilibrage géodynamique.

Ils ont surtout un **effet « point dur vertical » incontestable** par la stabilisation du profil en long à leur amont, ce qui peut être bénéfique sur les cours d'eau en phase de forte incision (suite à des extractions par exemple).

2 Evaluation des effets positifs d'un arasement/dérasement

En théorie, l'**arasement** et plus encore le **dérasement** (effacement) d'un ouvrage, doit permettre de résorber la plupart des impacts hydromorphologiques et écologiques négatifs décrits précédemment :

- Restauration d'un écoulement naturel.
 - Restauration des faciès d'écoulement (donc des habitats aquatiques) naturels
 - Restauration des milieux naturels ripariaux (se développant sur les rives et les bancs alluviaux : végétation pionnière et biocénoses associées) et de leur périodicité de rajeunissement (par les processus d'érosion/dépôt de la charge alluviale en transit)
- Réduction des effets de réchauffement (et souvent d'eutrophisation) liés à la présence de la retenue
- Réduction de l'envasement et amélioration du transit des alluvions grossières

ATTENTION : dans certains cas (« biefs perchés », emprise de retenue surcalibrée, etc.), la solution optimale comporte non seulement la suppression des ouvrages, mais aussi la **restauration du lit du cours d'eau dans l'emprise de l'ancienne retenue**.

3 Détermination des risques éventuels liés à un arasement/dérasement

Les inconvénients de l'arasement/dérasement d'un ouvrage de type seuil peuvent être listés de manière quasi-exhaustive mais **ils ne sont pas systématiques**.

Nous les avons qualifiés de « risques » au sens « effets potentiellement négatifs ». L'étude préalable doit permettre de les déterminer le plus précisément possible afin d'anticiper les mesures préventives ou correctives.

Douze grands types de « risques » hydromorphologiques et/ou écologiques peuvent être identifiés :

1. Erosion régressive
2. Réactivation de l'érosion latérale en amont, le long des berges de l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide
3. Sur-alluvionnement en aval et ses effets hydromorphologiques et écologiques
4. Affaissement de la nappe d'accompagnement en amont
5. Remise en cause de l'équilibre écologique mis en place en amont depuis l'installation du seuil
6. Médiocre qualité d'habitat sur les cours d'eau ayant subi une chenalisation (recalibrage, rectification)
7. Mortalité d'une partie de la ripisylve dont les racines seront exondées
8. Remplacement d'un paysage de « plan d'eau » par un paysage de cours d'eau naturel
9. Réduction du volume de zones refuges pour les poissons en étiage sévère
10. Déformations géotechniques des bâtiments situés le long de l'ancienne retenue
11. Modification des peuplements biologiques
12. Modification des processus physico-chimiques

Ces risques potentiels sont exposés ci-après et une **synthèse bibliographique** est présentée en annexe (Salgues, 2011).

3.1 Érosion régressive

Dans les régions à fort transport solide de fond (charge alluviale grossière), les seuils peuvent se remplir assez rapidement et devenir **en grande partie transparents** lorsque le remous solide atteint la crête du seuil (figure ci dessous).



Figure 1 : exemples de seuils en grande partie transparents vis à vis du débit solide grossier (photos Malavoi)

Toutefois, malgré cette **transparence relative**, le piégeage d'une partie importante de la charge grossière se poursuit généralement par **remous solide régressif**, remous qui peut se propager très loin en amont de l'ouvrage.

On voit ainsi sur la Figure 2 le remous solide régressif qui s'est créé au fil des siècles en amont du seuil de Souilhac, sur la Corrèze à Tulle. Ce seuil, probablement antérieur à 1700, s'est peu à peu rempli d'alluvions grossières jusqu'à ce que la pente amont atteigne un nouveau profil d'équilibre, 1.2 m environ au dessus de la cote de l'ancien lit.

Ce remous solide, dont la pente est sensiblement identique à la pente en aval du seuil (0.003), s'étend sur au moins 5 km. Sur ce remous solide en cours de formation, de nouveaux seuils ont été construits au 19^{ème} et au 20^{ème} siècle. On peut donc considérer que, même s'il arrive occasionnellement que quelques alluvions grossières franchissent la crête du seuil, l'effet de piégeage d'une partie importante de la charge perdure (d'autant que de nouveaux seuils sont aujourd'hui présents).

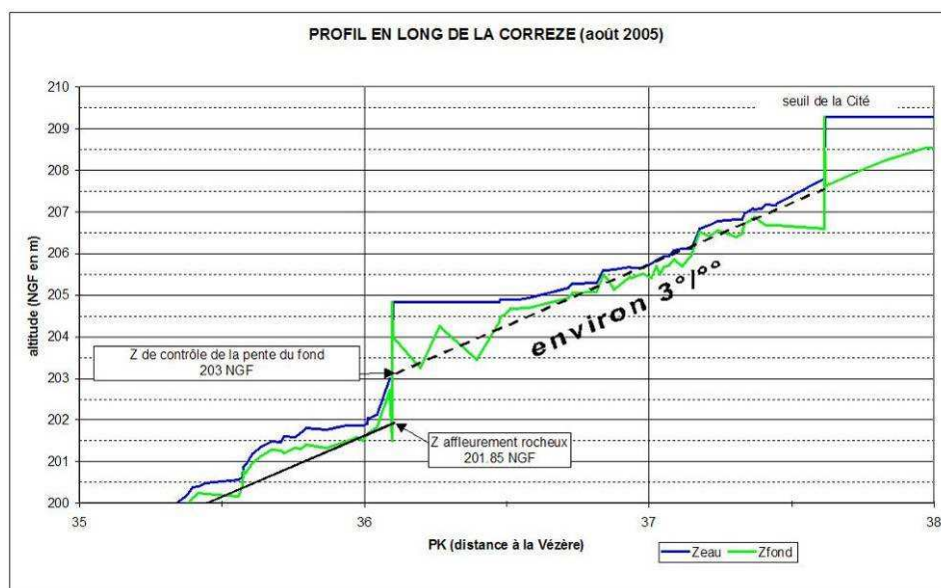


Figure 2 : profil en long (fond et ligne d'eau d'étiage) de la Corrèze à Tulle, de part et d'autre du seuil de Souilhac. On voit bien l'effet de remous solide très loin en amont du remous liquide (delta h de 1 m sur 5 km).

Sur la Figure 3 (la Leyse en amont de Chambéry), on constate qu'un nouveau profil d'équilibre du fond s'est établi au fil des décennies en amont d'un seuil de 4 m de hauteur. Le remous liquide initial (retenue du seuil) devait mesurer une centaine de mètre. Le remous solide réel (qui permet de calculer le volume minimal d'alluvions grossières piégées par le seuil) remonte sur plus de 450 m. On peut considérer que ce seuil est aujourd'hui transparent vis à vis de la charge de fond.

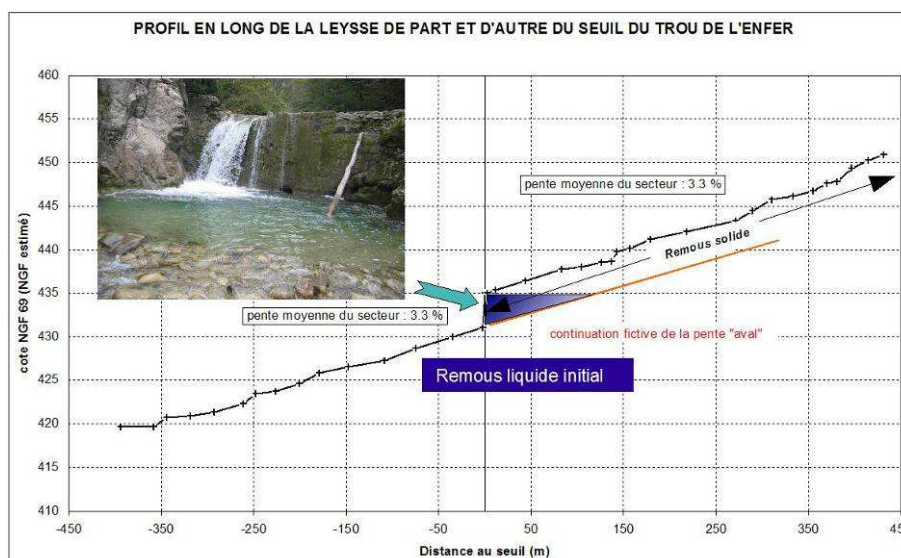


Figure 3 : Remous solide en amont d'un seuil sur un cours d'eau de montagne. La pente d'équilibre est la même de part et d'autre de l'ouvrage, mais 4 m plus « haut » en amont du seuil.

Dans ces deux cas, le dérasement total (voire même le simple arasement) de l'ouvrage va se traduire par 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) existe en aval du seuil à déraser ou araser.

L'étude préalable doit donc absolument évaluer l'étendue du remous solide, l'emprise probable de l'érosion régressive, la profondeur d'incision attendue et éventuellement les taux annuels de propagation de l'érosion régressive. Elle doit aussi évaluer les enjeux qui pourraient être menacés par celle-ci.

Cette étude doit aussi déterminer s'il existe déjà un processus d'érosion régressive provenant de l'aval du seuil et lié par exemples à des travaux hydrauliques (rescindement de méandres, endiguement étroit, etc.) ou à d'anciennes extractions en lit mineur.

- 4 principaux types de situation peuvent être rencontrés et sont explicités dans les figures ci-dessous
 - ouvrage sur un cours d'eau en équilibre dynamique avec remous solide modéré
 - ouvrage sur un cours d'eau en équilibre dynamique avec remous solide important
 - ouvrage sur un cours d'eau en déséquilibre modéré (légère érosion régressive provenant de l'aval suite à une extraction de granulats en lit mineur par exemple)
 - ouvrage sur un cours d'eau en fort déséquilibre (érosions régressives et progressives de part et d'autre)

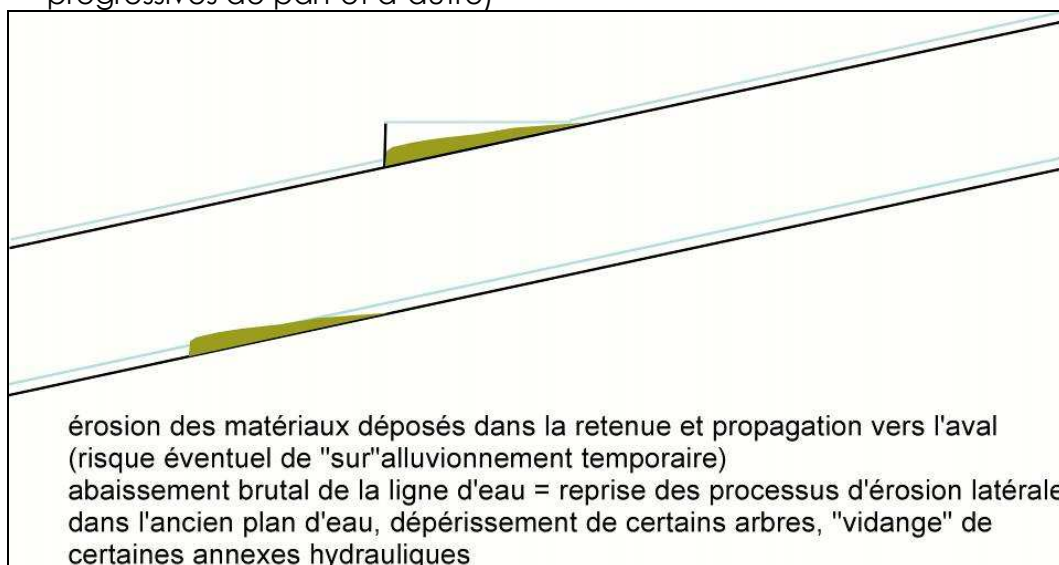


Figure 4 : dérasement d'un seuil ou barrage sur un cours d'eau en équilibre dynamique avec faible remous solide

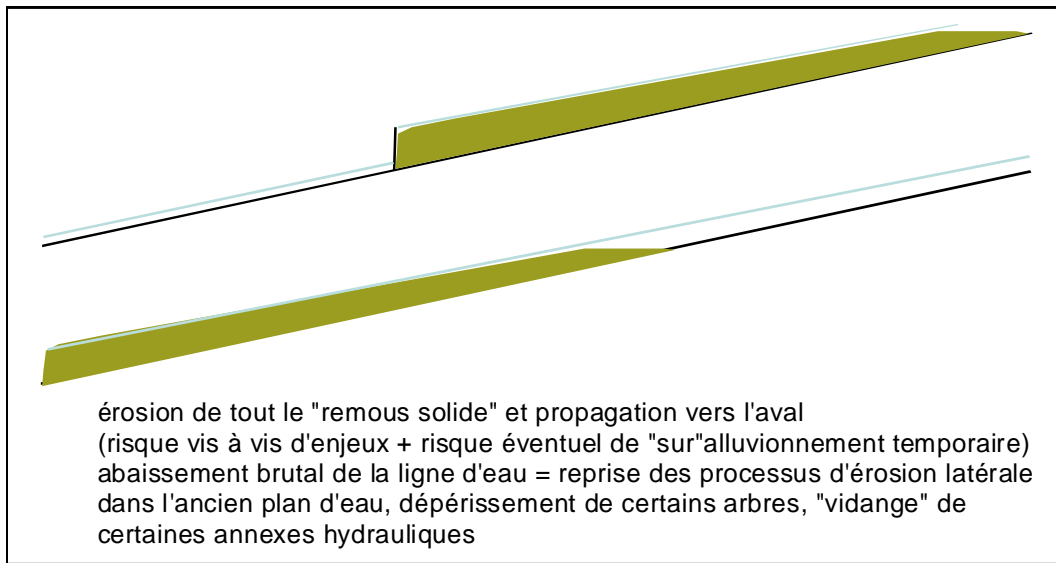


Figure 5 : dérasement d'un seuil ou barrage sur un cours d'eau en équilibre dynamique avec remous solide important (très au delà du remous liquide, s'il en existe encore un)

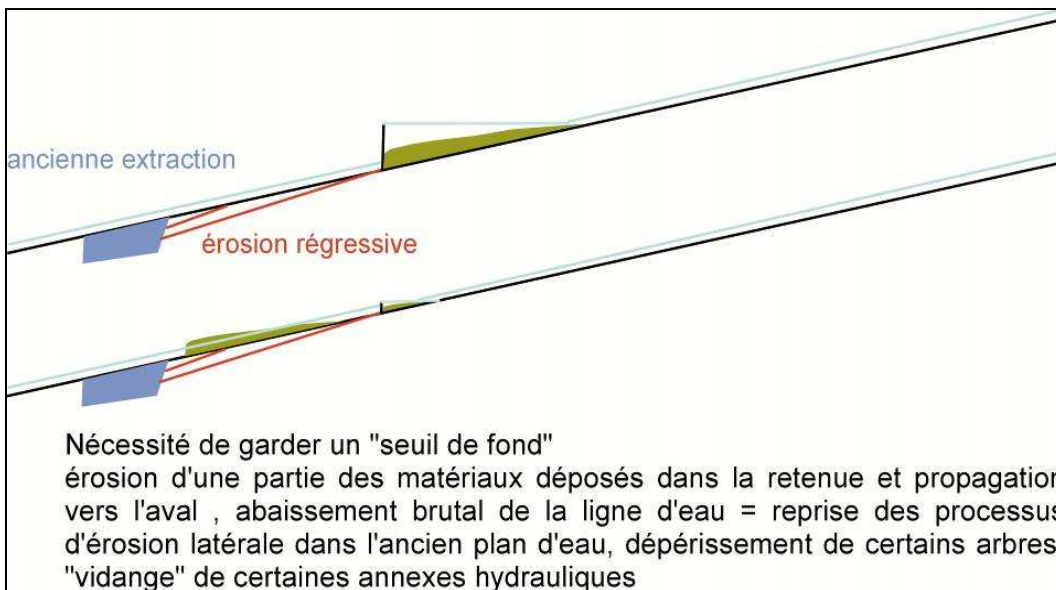


Figure 6 : dérasement d'un seuil ou barrage sur un cours d'eau en déséquilibre modéré (légère érosion régressive provenant de l'aval). Il faut garder (ou reconstruire) un seuil de fond

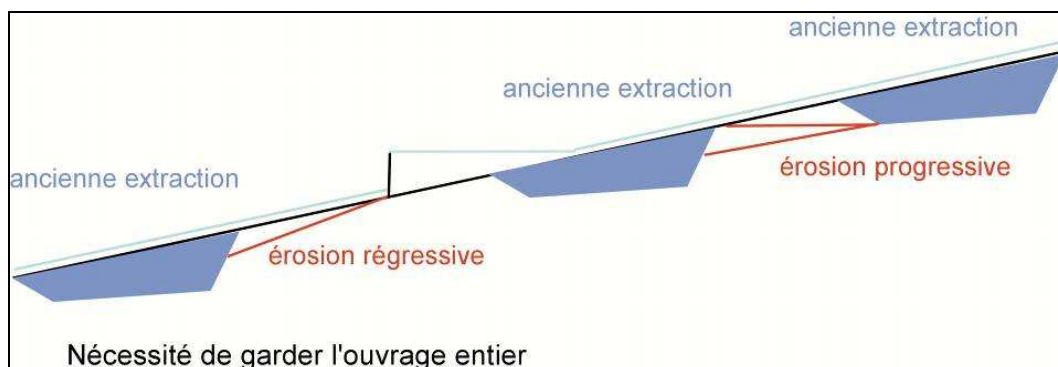


Figure 7 : dérasement d'un seuil ou barrage sur un cours d'eau en fort déséquilibre. Il faut garder le seuil. Un léger arasement peut toutefois être envisagé, s'il présente un intérêt en termes de franchissabilité et de gain en habitats lotiques en amont.



Figure 8 : exemple d'érosion régressive dans le remous de l'ancien barrage de St Etienne du Vigan (type Figure 4). Un « canyon » s'est creusé très rapidement sous l'effet de l'érosion régressive puis le reste des matériaux a été érodé par érosion latérale (repère visuel : le câble avec panneaux).

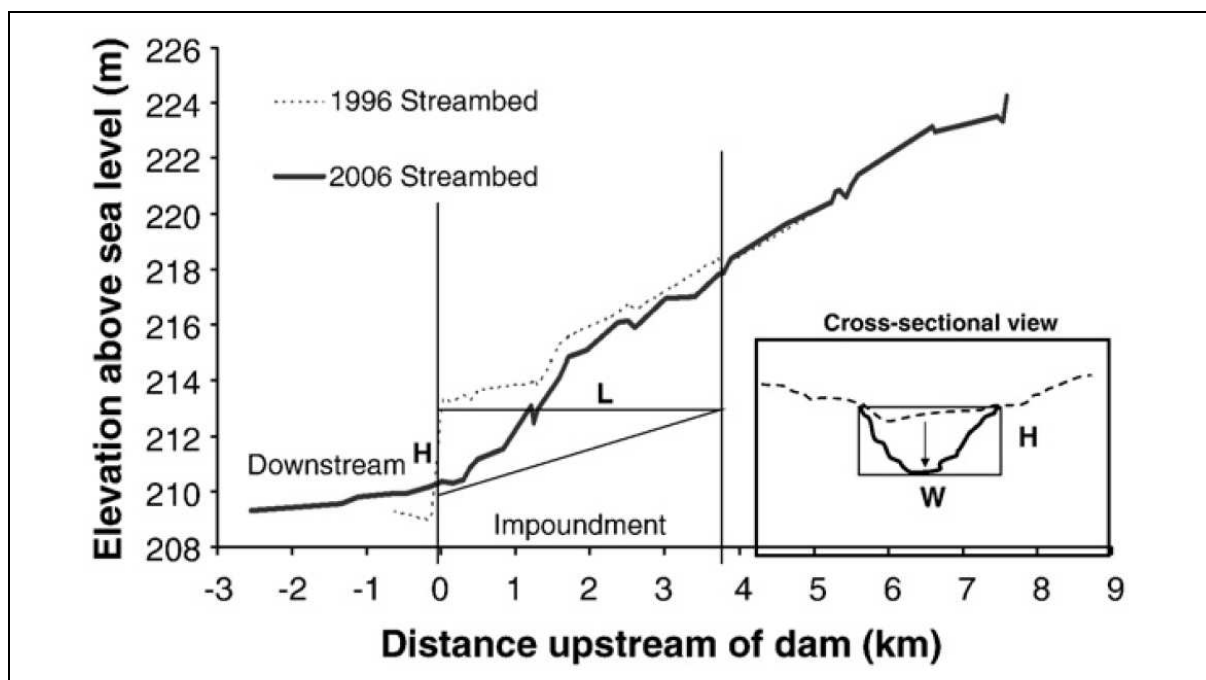


Figure 9 : exemple d'emprise d'une érosion régressive suite à l'effacement d'un seuil sur la Pine River (Burrough et al., 2009).

Cantelli et al. (2004 et 2006), suggèrent, sur la base d'expérimentations sur modèle réduit, d'effacer les seuils et surtout les barrages en plusieurs fois, ce qui permet de réduire les taux d'érosion régressive ainsi que les effets potentiellement négatifs d'afflux massif de sédiments en aval.

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

3.2 Réactivation de l'érosion latérale en amont, le long des berges de l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide

L'abaissement du plan d'eau risque de se traduire par la reprise des processus d'érosion latérale le long des berges situées dans l'emprise de l'ancienne retenue, du fait notamment de la réapparition des circulations d'eau entre la nappe et la rivière en période de crue (décharge rapide de la nappe à la décrue), mécanisme naturel qui fragilise les berges et favorise leur érosion.

Cette réactivation des processus érosifs latéraux peut aussi se faire sentir sur l'ensemble de la zone d'érosion régressive dans le remous solide lié à l'ouvrage.

L'étude préalable doit évaluer ce risque, son emprise spatiale, ainsi que les taux annuels d'érosion latérale attendus. Des mesures pourront alors être prises pour bloquer l'érosion si des enjeux socio-économiques majeurs sont menacés (protections de berges en techniques végétales). Au cas par cas, il sera envisageable d'acquérir les terrains érodables en amont (mise en œuvre d'un espace de mobilité).

3.3 Sur-alluvionnement en aval

La reprise des matériaux grossiers stockés dans la retenue (les matériaux fins (argiles, limons, sables fins) devront être évacués ou stabilisés puis végétalisés) et éventuellement dans son remous solide au delà de l'emprise de la retenue (cas notamment des seuils anciens sur des rivières à forte charge) va générer un apport solide plus ou moins important en aval : on va en effet libérer relativement brutalement plusieurs décennies, voire siècles, d'apports solides.

Les processus d'érosion latérale en amont de l'ouvrage, s'ils se développent, viendront encore accentuer le phénomène par la production de charge solide qu'ils génèrent.

Il conviendra donc de bien déterminer les volumes de sédiments (et leur granulométrie) susceptibles d'être entraînés en aval afin d'évaluer leurs effets éventuels sur les écoulements (risque de réduction temporaire de la section d'écoulement), sur les infrastructures (risque d'obturation de ponts et ponceaux, d'exutoires d'égouts, de déversoirs d'orages, de drains, etc.), sur les milieux naturels (risques de colmatage voire d'enfouissement de certains habitats alluviaux ou de faciès d'écoulement lotiques (radiers et plats courant notamment)).

ATTENTION : la phase de sur-alluvionnement, généralement temporaire, peut aussi s'accompagner d'un accroissement des taux d'érosion latérale au droit des sites de sédimentation, particulièrement si les dépôts se font sous forme de bancs alternés ou médians (effet déflecteur).

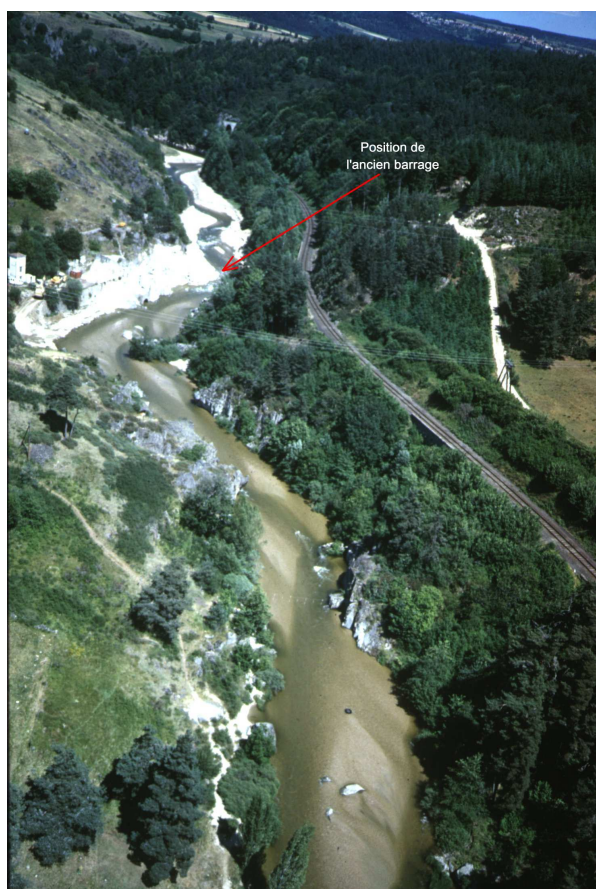


Figure 10 : (a) exemple de sur alluvionnement grossier suite à l'effacement du barrage de St Etienne du Vigan. (b) exemple de profils en travers en aval du seuil de Maisons Rouges après son effacement. Dans les deux cas, le suralluvionnement n'a été que temporaire, les alluvions s'étant propagées assez rapidement vers l'aval.

D'un point de vue biologique, ce sur alluvionnement peut provoquer un enfouissement de certains faciès d'écoulement sous les masses alluviales en transit. Ce peut être assez pénalisant si les matériaux sont fins (< 2mm) et colmatent des substrats plus grossiers. Certains auteurs font ressortir cet effet, notamment sur des populations de mollusques sensibles à l'enfouissement.

Le sur alluvionnement peut aussi fossiliser, au moins temporairement la végétation ripicole existante et entrainer une mortalité par asphyxie ou toxicité des alluvions.

Enfin, un aspect important du relargage des matériaux issus de l'ancienne retenue concerne leur qualité chimique. Les ouvrages situés dans des bassins versants industriels ou agricoles peuvent notamment contenir des sédiments pollués ou contenant de fortes quantités d'intrants agricoles. Leur relargage aura des effets extrêmement négatifs sur la qualité de l'eau et des sédiments en aval, voire directement sur les biocénoses. Il sera donc préférable de les évacuer, au moins en partie, et de stabiliser ceux qui resteront dans l'ancienne retenue.

3.4 Affaissement de la nappe d'accompagnement en amont

Si le seuil jouait un rôle d'augmentation du niveau de la nappe et de sa stabilité, il est très probable que son dérasement se traduise par un retour à un niveau de nappe naturel (c'est à dire plus bas). Ce retour peut être pénalisant si certains usages, comme des puits de captage AEP par exemple, se sont greffés sur un niveau de nappe haute. L'étude préalable devra donc vérifier, par des mesures adaptées, qu'il existe bien une relation directe entre le seuil, sa retenue et le niveau de la nappe.

Ces approches peuvent être réalisées par des mesures in situ (installation de piézomètres et suivi sur une ou deux années avec et sans ouverture des vannes permettant de vidanger la retenue) ou au moyen de modèles nappe/rivière intégrant notamment la conductivité hydraulique.

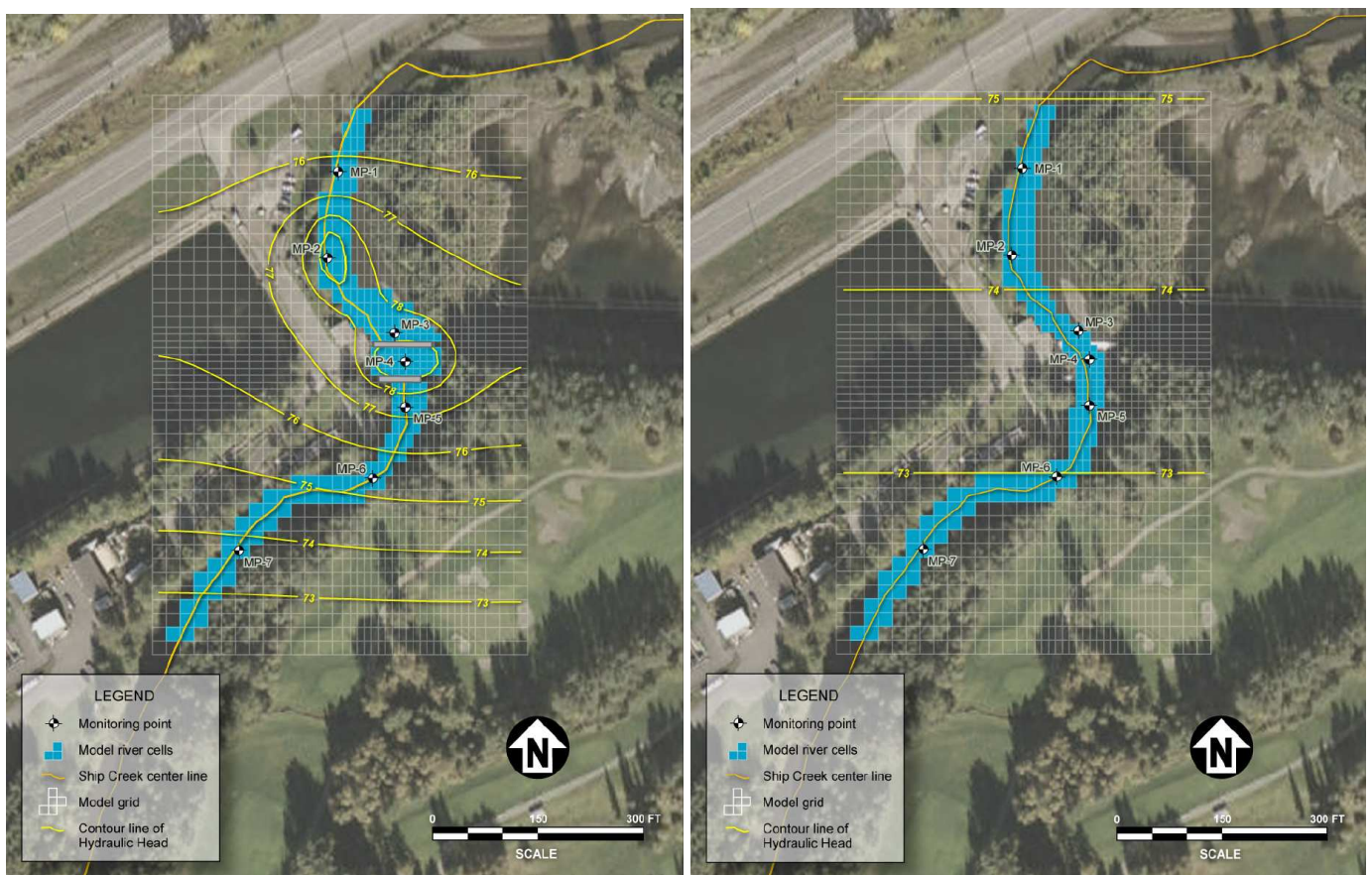


Figure 11 : exemple de modélisation des effets d'une suppression de seuil sur le niveau de la nappe d'accompagnement (Shaw environmental, 2006). La conductivité hydraulique est ici de 30 m/ j. Les courbes piézométriques sont en pieds. (a) niveau de la nappe avec les euils existants (traits gris au niveau du point MP-4) et (b) après suppression des seuils. Noter que l'affaissement est très localisé mais qu'on l'observe aussi en aval.

En cas d'effet avéré, l'étude devra vérifier si le dérasement se traduira réellement par une perte d'usage (il est parfois possible de descendre les puits de quelques mètres) et proposer dans ce cas des mesures compensatoires, réductrices ou une solution alternative au dérasement.

3.5 Remise en cause de l'équilibre écologique mis en place en amont depuis l'installation du seuil

Dans certains cas, la présence du seuil depuis des décennies, voire des siècles, a pu contribuer au développement de zones humides en amont (grâce aux éventuelles remontées de nappe et/ou à l'augmentation de la fréquence et de la durée de submersion du lit majeur lors des crues).

Le dérasement de l'ouvrage aura dans ces cas là pour effet probable, une vidange de ces zones humides (si elles sont liées à une nappe haute) ou un relatif dépérissement (si elles plutôt liées à des processus de submersion). Il faudra donc, dans ce type de cas, faire un bilan écologique préalable à l'éventuel arasement, permettant de vérifier si la « perte » d'une zone humide intéressante sera compensée par un « gain » écologique sur d'autres aspects (amélioration des fonctionnalités du lit mineur, gain en habitats lotiques, etc.).

3.6 Médiocre qualité d'habitat sur les cours d'eau ayant subi une chenalisation (recalibrage, rectification)

Sur la plupart des cours d'eau, l'effacement des ouvrages se traduira par un gain important en habitat lotique dans l'emprise de l'ancienne retenue.

Cependant, dans certains cas et notamment sur les cours d'eau peu puissants ayant été sévèrement recalibrés, la disparition du seuil se traduira au contraire par une médiocre qualité d'habitat (faible profondeur du fait de l'étalement de la lame d'eau, notamment à l'étiage) et de paysage (bief généralement envasé).

Des travaux connexes au dérasement devront donc être entrepris rapidement pour recréer des conditions fonctionnelles et paysagères intéressantes pour la faune et la flore aquatique et agréables pour les riverains et promeneurs (renaturation du cours d'eau en amont, réduction de la section par des épis déflecteurs végétalisés, etc.). Sur les cours d'eau à forte puissance, ces interventions pourront ne pas être nécessaires.

3.7 Mortalité d'une partie de la ripisylve dont les racines seront exondées

Cet impact négatif assez fréquent est lié à la fois à l'abaissement du plan d'eau et à la reprise des processus d'érosion latérale. Il est en partie gérable par recépage de la végétation rivulaire.



Figure 12 : exemple d'arbres déchaussés suite à l'effacement d'un seuil

Cela dit, la présence d'embâcles dans le cours d'eau présente aussi des effets positifs sur les habitats aquatiques et rivulaires...

3.8 Remplacement d'un paysage de « plan d'eau » par un paysage de cours d'eau naturel

La dimension paysagère d'un seuil et particulièrement de sa retenue est souvent l'une des pierres d'achoppement d'un projet d'arasement/dérasement.

Cet aspect étant très subjectif, l'une des solutions consiste à réaliser des photomontages et à les soumettre à l'appréciation des riverains et autres partenaires impliqués dans le projet.

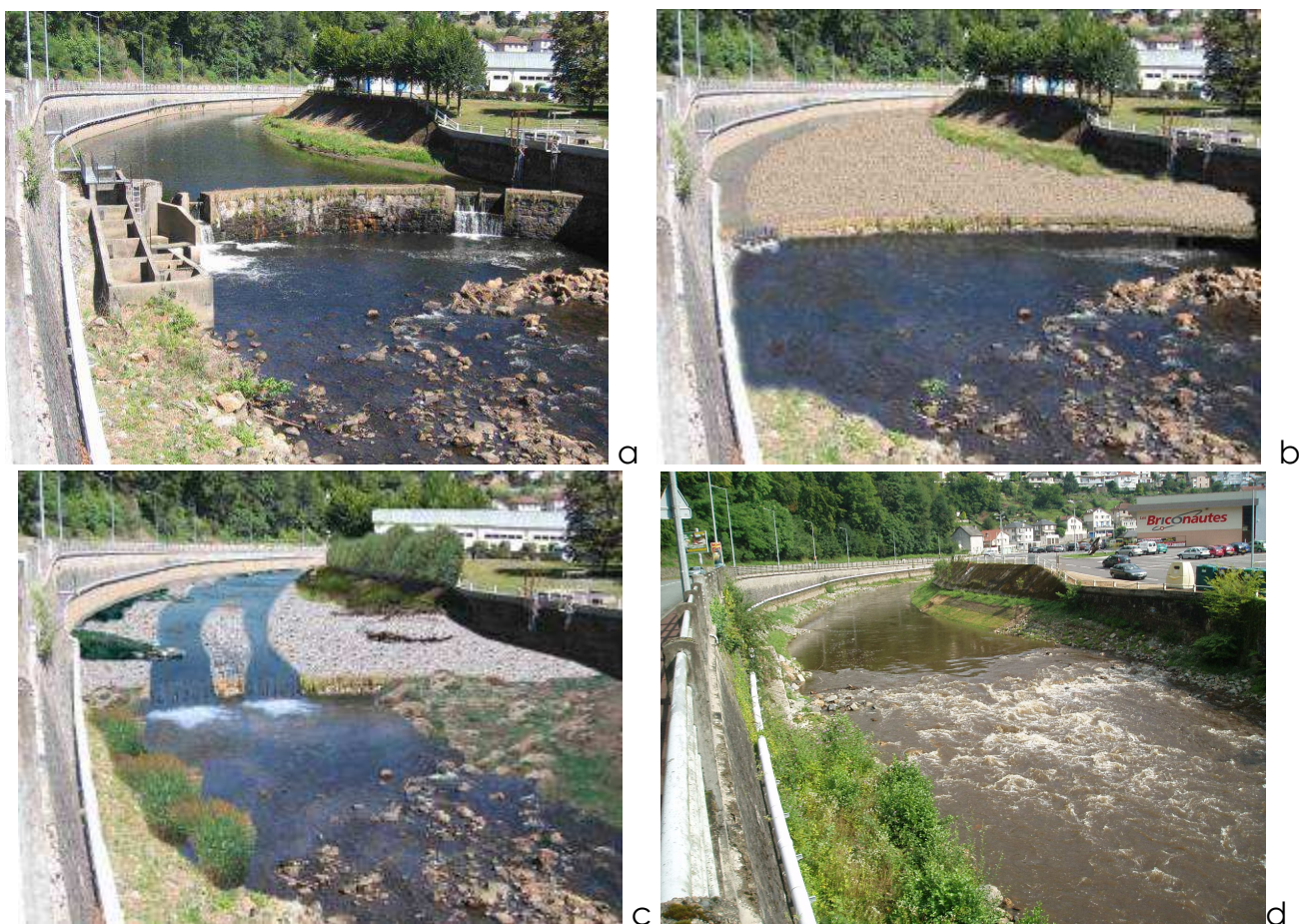


Figure 13 : (a) situation actuelle (b) et (c) photomontages présentant plusieurs options possibles de restauration de l'ancienne retenue. (d) situation 2 ans après l'effacement (en eaux moyennes).

3.9 Réduction du volume de zones refuges pour les poissons en étiage sévère

Cet argument est souvent invoqué par certains pêcheurs qui craignent surtout de voir disparaître les espèces piscicoles qu'ils ont l'habitude de pêcher, c'est à dire les gros poissons de « plans d'eau » (carpes, tanches, etc.).

S'il est vrai que ces poissons de plan d'eau vont probablement disparaître, la suppression des retenues d'eau n'aura pas toujours pour résultat une diminution drastique des zones refuges. Il en existe dans les cours d'eau naturels (faciès mouilles et chenaux lenticules) et la restauration du fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau après effacement devrait théoriquement les reconstituer.

3.10 Déformations géotechniques des bâtiments situés le long de l'ancienne retenue

Ce « risque » est souvent évoqué lorsque des bâtiments existent le long de la retenue du seuil. Il provoque généralement des réactions immédiates de refus de mise en œuvre d'un arasement/dérasement.

Il est en effet connu dans le domaine du bâtiment que les périodes de sécheresse font s'évaporer l'eau naturellement présente dans les sols entraînant parfois, principalement dans les sols argileux, une réduction de leur volume. Ce phénomène de dessiccation peut entraîner des **processus de retrait/gonflement du sol** sous l'assise du bâtiment, qui peut alors subir un certain nombre de désordres. Ainsi au cours de la sécheresse de l'été 2003, près de 7000 communes ont demandé une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle du fait du retrait-gonflement des argiles, ce qui représente plusieurs dizaines de milliers d'habitations sinistrées.

Pour ce qui concerne l'évaluation de ce risque dans le cadre d'arasement/dérasement d'ouvrages, il peut être utile dans un premier temps de consulter les cartes nationales réalisées par le BRGM en 2009 et disponibles en format SIG sur le site suivant <http://www.argiles.fr/>.

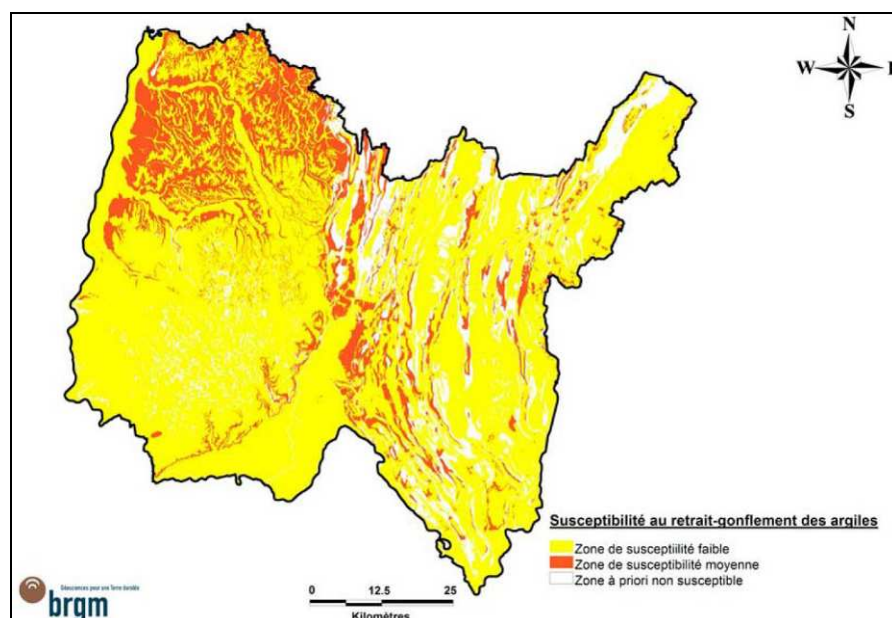


Figure 14 : exemple de carte départementale de risque de retrait/gonflement des argiles (BRGM, 2009).

Si l'ouvrage et le ou les bâtiments éventuellement concernés se situent dans une zone de susceptibilité moyenne, une étude géotechnique complémentaire est souhaitable.

3.11 Modification des peuplements biologiques

Les principaux **risques liés à l'effacement** d'un ouvrage pour ce qui concerne les peuplements biologiques sont :

- une mortalité potentielle des macroinvertébrés et des poissons à l'aval immédiat, liée notamment à l'altération des habitats par colmatage et à la dégradation temporaire des paramètres de physico-chimie de l'eau
- une extension de la répartition d'espèces présentes à l'aval, et qui pourraient potentiellement être invasives suite à la suppression d'une barrière physique à leur colonisation
- la disparition des espèces de cours d'eau à courant lent (carpes, tanches) et leur remplacement par des espèces plus rhéophiles (NB : ce « risque » est en réalité l'un des principaux objectifs visés dans l'opération d'effacement...).

3.12 Modification des processus physico-chimiques

Ce dernier « risque » relève principalement de la libération, dans des concentrations importantes, de polluants et de nutriments adsorbés sur les sédiments fins stockés dans la retenue. Il rejoint en cela le risque évoqué plus haut de « suralluvionnement ». En effet, une retenue, puits de nutriments et de polluants quand le barrage était en place, devient souvent une source de ces mêmes composés quand le barrage est dérasé.

4 Synthèse du contenu possible d'une étude de faisabilité compartiments hydromorphologie-hydroécologie

4.1 Diagnostic des effets de l'ouvrage sur le fonctionnement du cours d'eau

- Effets sur la fréquence et/ou la durée des submersions du lit majeur en amont
→ Observation ou modélisation hydraulique sur la base d'une topographie précise du lit mineur et majeur
- Effets sur la fréquence et/ou la durée des connexions avec les annexes hydrauliques du lit majeur en amont
→ Observation ou modélisation hydraulique des connexions sur la base d'une topographie précise du lit mineur et des annexes
- Effets sur l'augmentation des temps de transfert (si plusieurs ouvrages ou si ouvrage à retenue très longue)
→ Observation
- Effets sur le piégeage des sédiments grossiers et fins : mesure des dépôts dans l'emprise de la retenue
→ Bathymétrie du plan d'eau et comparaison avec la bathymétrie d'origine (si disponible).
→ Mesures granulométriques (prélèvements réalisés par un plongeur ou à la rigueur à la benne Eckmann)
- Effets sur le développement d'un remous solide au delà de la retenue, notamment lorsque la retenue est comblée : mesure d'un profil en long (cote du talweg et ligne d'eau d'étiage). (**NB** : nécessité à évaluer au cas par cas en fonction de l'ancienneté de l'ouvrage et de la quantité estimative d'apports solides annuels)

- En amont de l'ouvrage, le profil en long doit **a minima** être relevé sur une longueur de l'ordre de **50 fois la largeur à pleins bords²** (si possible plutôt 100 fois). Si sur ce linéaire, il apparaît qu'un remous solide se développe, il peut être utile lors d'une phase d'étude complémentaire, de rechercher la limite amont du remous solide (notamment pour évaluer l'emprise de l'érosion régressive et les volumes susceptibles d'être mobilisés en cas d'effacement). A ce profil amont doivent être couplées des mesures de la granulométrie du lit (granulométrie dans la masse, après décapage de la couche d'armure, elle même mesurée selon la méthode de Wolman).
- En aval de l'ouvrage, le profil en long doit *a minima* être relevé sur une **longueur de 50 fois la largeur du cours d'eau** (sauf si l'on est dans la retenue d'un seuil situé plus en aval)
- Effets sur le piégeage des sédiments fins
 - Cartographie de l'emprise de la couverture de fine
 - Mesure de la granulométrie (échantillonnage)
 - Mesure de l'épaisseur de fines (échantillonnage)
- Effets de réchauffement de l'eau et d'augmentation des effets de l'eutrophisation
 - Mesures amont et aval de l'ouvrage
- Effets de l'ouvrage sur les relations nappe/rivière
 - Niveaux piézométriques de la nappe d'accompagnement dans trois piézomètres installés perpendiculairement à la berge du cours d'eau, respectivement à 5, 10 et 50 mètres, ainsi que dans le puits de captage lui-même (si existant),
 - Suivi en continu sur un mois, dont 15 jours seuil fermé et 15 jours seuil ouvert, en étiage et en eaux moyennes,
 - Suivi simultané des débits et niveaux du cours d'eau.

² Attention : il s'agit de la largeur naturelle et non de la sur-largeur que l'on trouve généralement au droit d'un seuil.

Arasement dérasement de seuils, J.R.Malavoi, D.Salgues

4.2 Evaluation des effets positifs attendus d'un arasement/dérasement

- Restauration d'un écoulement naturel.
 - Evaluation du linéaire et des proportions de faciès naturels récupérables après dérasement
 - Evaluation des superficies et natures (bancs alluviaux grossiers, îles, rives, etc.) de milieux naturels ripariaux récupérables
- Evaluation des gains sur les températures
- Evaluation de l'amélioration du transit des alluvions grossières (cf. ci après)

4.3 Détermination des risques d'un arasement/dérasement

- Risque d'érosion régressive
 - Détermination de l'existence d'un processus d'érosion régressive provenant de l'aval de l'ouvrage (qui justifierait de conserver au moins un radier de fond)
 - Détermination de l'étendue du remous solide (cf supra)
 - Evaluation de l'emprise probable de l'érosion régressive, de la profondeur d'incision attendue et des taux annuels de propagation de l'érosion régressive
 - Détermination et localisation des enjeux qui pourraient être menacés par celle-ci et anticipation des solutions de protection
- Risque de réactivation de l'érosion latérale en amont dans l'ancien plan d'eau.
 - Détermination du risque de réactivation des processus d'érosion latérale en amont de l'ouvrage et notamment dans l'ancienne retenue, de son emprise spatiale, ainsi que des taux annuels d'érosion attendus.
 - Préconisation de mesures pour bloquer l'érosion si des enjeux socio-économiques majeurs sont menacés (protections de berges), ou acquérir les terrains érodables en amont (mise en œuvre d'un espace de mobilité).
- Risque d'apports sédimentaires massifs en aval
 - détermination des volumes de sédiment (et leur granulométrie) susceptibles d'être entraînés en aval
 - évaluation de leurs vitesses de propagation vers l'aval

- évaluation de leurs effets éventuels sur les écoulements (risque de réduction temporaire de la section d'écoulement), sur les infrastructures (risque d'obturation de ponts et ponceaux, d'exutoires d'égouts, de déversoirs d'orages, de drains, etc.), sur les milieux naturels (risques d'apports de matériaux colmatants (sables, limons)).
- Evaluation de leur toxicité éventuelle (auquel cas il faudra les évacuer ou les stabiliser dans la retenue)
- Risque d'affaissement du niveau de la nappe en amont : si les premiers éléments de l'étude préalable ont bien mis en évidence le rôle de l'ouvrage sur l'élévation du niveau de la nappe (cf. supra), il conviendra de :
 - vérifier la possibilité de maintien de la productivité du puits avec une nappe plus basse
 - rechercher un autre site de pompage, voire une autre ressource en eau.
- Risque de désorganisation de l'équilibre écologique éventuellement mis en place depuis l'installation du seuil.
 - Inventaire faunistique et floristique du site concerné montrant la présence d'espèces rares ou protégées caractéristiques des zones humides
 - Réalisation d'un bilan écologique permettant de vérifier si la « perte » d'une zone humide intéressante sera compensée par un « gain » écologique sur d'autres aspects, notamment au niveau de la fonctionnalité écologique du lit mineur.
- Risque de médiocre qualité d'habitat dans l'emprise de l'ancienne retenue
 - Evaluation de ce risque à partir d'une étude des caractéristiques de la retenue et du cours d'eau (puissance spécifique, apports solides, érodabilité des berges notamment)
 - Préconisation de mesures de restauration, notamment de l'habitat aquatique et de la qualité paysagère du site
- Risque de mortalité et de chute d'une partie de la ripisylve
 - Elaboration d'un plan de gestion de la ripisylve
- Risque « paysager » : remplacement d'un paysage de plan d'eau par un paysage de cours d'eau
 - Concertation avec les partenaires, riverains, usagers divers, sur la base notamment de photomontages

- Risque de réduction des zones refuges pour les poissons
 - Prédétermination des quantités et fonctionnalités des faciès d'écoulement « refuge » qui apparaîtront dans l'emprise de l'ancienne retenue

- Risques de désordres géotechniques sur les bâtiments
 - Après pré-détermination du risque de retrait/gonflement des argiles sur la base des cartes BRGM (2009), réalisation d'une étude géotechnique complémentaire en cas de localisation dans une zone de susceptibilité moyenne.

5 Fiches bibliographiques

Fiche n°1 Risque d'érosion régressive

Analyse bibliographique

A partir d'observations réalisées lors de l'effacement de deux petits barrages dans le Wisconsin, Doyle et al. (2003) élaborent un modèle d'ajustement du lit mineur d'un cours d'eau dans le remous solide d'une ancienne retenue. Cet ajustement se fait en plusieurs étapes (Doyle et al., 2005, Figure 15) :

A et B : après accumulation de sédiments pendant des décennies, si la retenue est vidangée progressivement, 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 s'accumule dans le lit.

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).

La réponse géomorphologique consécutive à l'arasement d'un seuil est fonction de la quantité de sédiments stockés dans la retenue, de leur granulométrie ainsi que de la capacité du système fluvial à s'ajuster, notamment par érosion régressive dans le remous solide. Ces facteurs contrôlent également le rythme et l'amplitude des changements à l'aval.

Les systèmes à forte énergie (fort débit et/ou forte pente) sont capables d'éroder les sédiments plus efficacement et d'ajuster le lit plus rapidement que les systèmes à faible énergie. La texture, la taille et la compacité des sédiments influent aussi sur le temps d'ajustement après l'effacement d'un ouvrage (Doyle, 2005).

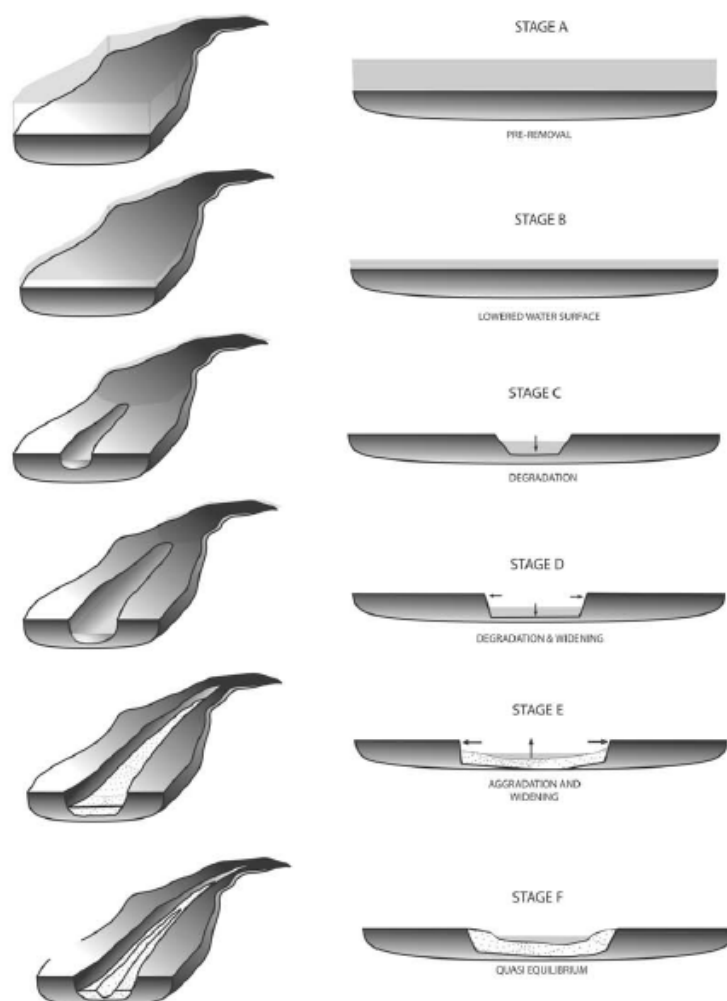


Figure 15 : les différentes étapes d'ajustement dans le remous solide d'un seuil après dérasement (Doyle, 2003).

Quantité de sédiments exportés

La quantité de sédiments transportés après effacement diffère beaucoup entre les seuils, car toutes les retenues ne sont pas remplies de la même manière. Certaines présentent une grande quantité de sédiments grossiers en queue de retenue, d'autres des sédiments fins juste derrière le seuil. Le rythme du transport sédimentaire vers l'aval dépendra de la distribution de ces sédiments, des modifications de la forme du lit et de l'hydrologie (Cheng, 2007).

Burroughs, (2009) constate que lors du dérasement d'un seuil, la quantité de sédiments naturellement exportée a été de l'ordre de 15% de la quantité présente dans la retenue.

Malgré le caractère relatif de cette information, Doyle (2003) fait le même constat sur un certain nombre de petits seuils.

Arasement dérasement de seuils, J.R.Malavoi, D.Salgues

Remarque : Formule pour estimer la quantité de sédiments potentiellement mobilisable
($H*(L/2)$)* W (Burroughs, 2009)

H : profondeur des sédiments ;

L : longueur du remous solide ;

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

Cheng (2007) propose une équation pour lier la quantité de sédiments transportés et les ajustements du lit dans la retenue :

$$q_{ST}/q_{S0} = (W_0/W_T)^{1.5} * (S_T/S_0)^{1.7}$$

q_s : le débit solide ;

S : la pente du tronçon ;

W : la largeur du lit.

Le rapport q_{ST}/q_{S0} représente l'évolution du transport de sédiments suite à l'arasement du seuil. Le rapport S_T/S_0 représente l'évolution de la pente dans l'ancienne retenue. W_0 et W_T représente la largeur du lit avant et après effacement de l'ouvrage.

Vitesse de migration du front d'érosion régressive

Tableau 1 : Exemples de vitesses de migration du front d'érosion régressive relevées dans le cadre d'effacements de seuils (Doyle, 2003 ; Ahearn, 2005).

Nom du seuil	Hauteur seuil (m)	débit moyen annuel (m ³ /s)	type de sédiments dans la retenue	Vitesse de migration du remous solide (m/mois)
Rockdale	3,3	2,7	Argiles et limons compacts près du seuil - sable en amont	40 (10 m/h les premiers jours)
Camanche	3	tête de BV (12 km ²)	Argiles et limons près du seuil - sable et graviers en amont	12,5

Exemple du seuil de Rockdale

Le seuil de Rockdale (3,3 m de haut) sur la rivière Koshkonong dans le Wisconsin, USA, montre qu'outre l'hydrologie du cours d'eau, la nature des sédiments stockés joue un rôle important dans l'évolution du lit.

Lors du dérasement graduel de ce seuil, Doyle (2003) montre que l'exportation de sédiments fins présents sur les 10 à 20 premiers cm a été considérable mais n'a pas donné lieu à l'incision d'un lit. La formation du lit et la mobilisation des sédiments, compacts et consolidés,

se sont faits par la mise en place d'un front d'érosion régressive, avec des excavations pouvant atteindre jusqu'à 1 m de profondeur dans des mouilles de concavité. Le rythme de l'érosion régressive a été de 10 m/h les premières 24h. Ce rythme a ensuite considérablement diminué les jours et semaines suivantes pour atteindre la vitesse de 40 m/mois les 11 mois suivants (fig. 2).

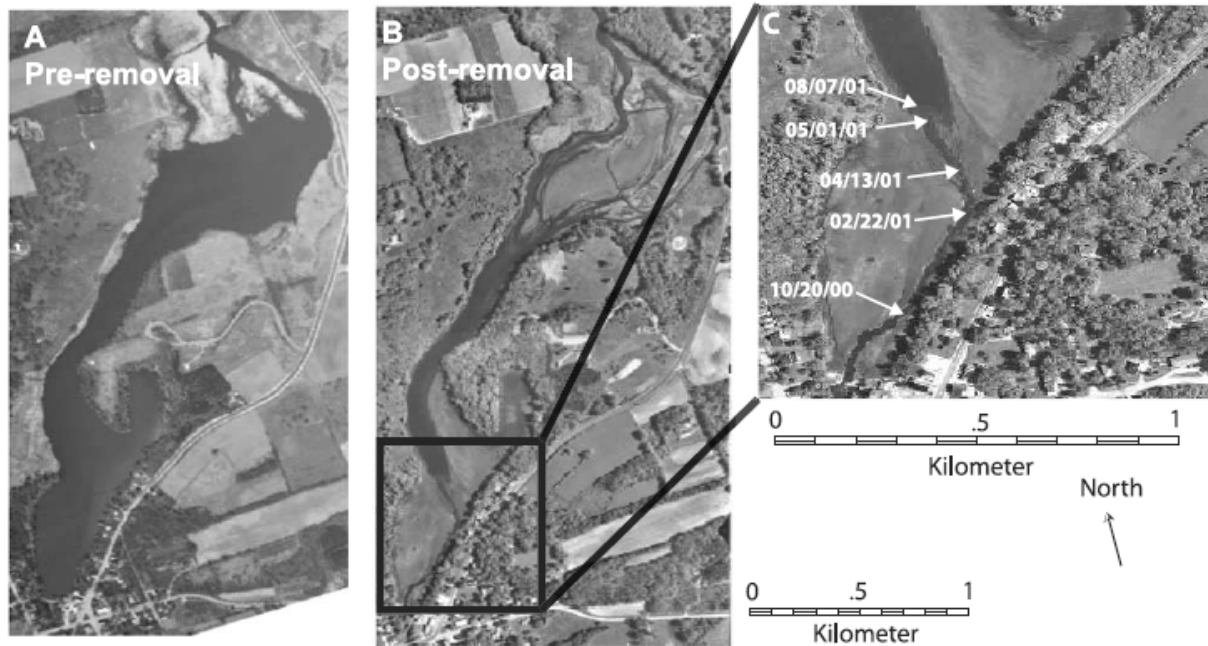


Figure 16 : Réservoir du seuil de Rockdale avant et après effacement : A) 9 mai 1990 B) 9 mai 2001, C) 9 mai 2001. Les dates sur la photographie C) indiquent l'emplacement du front de migration (Doyle, 2003).

Le calcul du taux de cisaillement pour le seuil de Rockdale montre qu'à l'amont du front d'érosion le taux de cisaillement n'était pas assez important pour mobiliser autre chose que les sédiments fins ; en revanche à l'aval ce taux était assez important pour éroder les sédiments plus grossiers (fig. 3 ; Doyle, 2003).

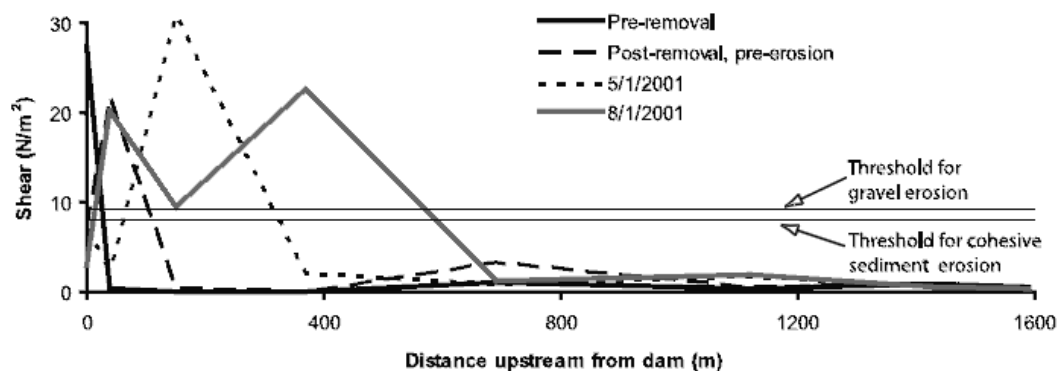


Figure 17 : évolution du taux de cisaillement à l'intérieur de la retenue du seuil de Rockdale pour un débit de 2,7 m³/s. Le taux critique de cisaillement pour les sédiments cohésifs est de 8 N/m² et de 9 N/m² pour des graviers. Le front d'érosion se situait à 40 m après effacement, 150 m le 1^{er} mai 2001 et 400 m le 1^{er} août 2001 (Doyle, 2003).

Plusieurs auteurs proposent des formules pour estimer la vitesse de migration. Begin et al. (1980) proposent une formule qui est fonction du transport solide à l'aval du front d'érosion (Amos, 2008) :

$$dx/dt = (q_{ST}/\gamma_s h)$$

dx/dt : vitesse de migration

q_{ST} : transport solide suite à l'effacement du seuil

γ_s : masse volumique des sédiments

h : hauteur d'incision

Remarque : Les formules ont été développées pour plusieurs types des sédiments stockés (sédiments facilement mobilisables, sédiments compacts en surface et non-résistants en dessous ou encore l'inverse).

Prise en compte de la Nature des Sédiments

Dans le cas de retenues comblées par des sédiments fins, ils seront facilement mobilisés et le temps de réponse entre l'effacement et les changements sera très court. Doyle (2005) affirme que la majorité des modifications géomorphologiques apparaissent entre la première et la cinquième année.

Pour des sédiments plus grossiers ou plus compacts, seuls des débits moins fréquents sont capables de les mobiliser et donc le décalage entre l'effacement et les changements morphologiques sera plus long (fig. 4).

Cependant, Burroughs et al. (2009) lors d'une longue étude de suivi de dérasement d'ouvrage dans le Michigan, précisent qu'après 10 ans, même si l'incision du lit dans la retenue semble stabilisée, l'érosion latérale, l'augmentation de la granulométrie du substrat et la formation du lit vont se poursuivre.

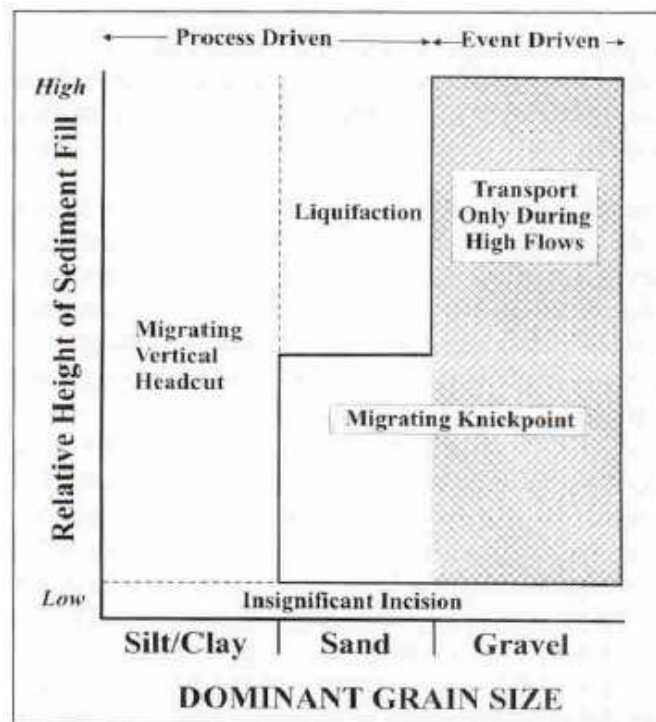


Figure 18 : Relation théorique entre la hauteur de comblement de la retenue, la taille dominante des sédiments et les différents processus d'érosion (Pizzuto, 2002).

Au cours de ces processus d'érosion le substrat homogène présent en amont de l'ouvrage n'est pas remplacé par un substrat homogène plus grossier mais par un substrat plus diversifié (diversification des vitesses d'écoulement). La distribution de la granulométrie est significativement plus grossière dans la retenue (Burroughs, 2009).

A l'aval, l'effet immédiat de l'arasement d'un seuil se traduit par un dépôt de fines pouvant réduire la profondeur du lit (jusqu'à 20% observé, Burroughs, 2009). Ce phénomène peut augmenter la connectivité aval avec la zone alluviale mais également détériorer les habitats par colmatage. Ce dépôt se dispersera, migrera ou se stabilisera suivant l'hydrologie du cours d'eau (Cf. Sur-alluvionnement aval).

NB : Cantelli et al. (2004 et 2006), suggèrent, sur la base d'expérimentations sur modèle réduit, d'effacer les seuils et surtout les barrages en plusieurs fois, ce qui permet de réduire les taux d'érosion régressive ainsi que les effets potentiellement négatifs d'afflux massif de sédiments en aval.

Etudes préalables à l'effacement d'un ouvrage

► Étude du profil d'équilibre et estimation de la longueur du remous solide Malavoi (2006) dans une étude sur la suppression d'un seuil au niveau de Souilhac, sur la Corrèze à Tulle évalue le remous solide régressif qui s'est créé au fil des siècles en amont de ce seuil. La réalisation du profil en long de la rivière a permis de montrer que ce seuil s'est comblé d'alluvions grossières. La pente du remous solide est quasiment la même que celle du lit à l'aval mais surélevée de 1 m sur 5 km. De nouveaux seuils ont été construits sur ce remous, qui eux-mêmes piègent une partie de la charge alluviale. Cette étude donne une bonne idée des conséquences d'un dérasement dans ces conditions.

► Etude du transport solide grâce à la contrainte de cisaillement en fonction de l'écoulement.

Evans et al. (2002) ou encore Cheng (2007) ont réalisé ce type d'étude sur des projets d'effacement de seuils : le seuil de Ballville et le seuil de St. Johns sur la rivière Sandusky dans Ohio. La première phase consiste à évaluer la granulométrie des sédiments en surface et en profondeur le long de la retenue par carottage des sédiments. On pourra coupler ces analyses avec des analyses chimiques. Ensuite une étude bathymétrique de la retenue permet d'estimer le volume de sédiments présents dans la retenue et en fonction de la topographie de l'ancien lit de connaître la quantité de sédiments qui sera mise en mouvement.

En fonction des conditions hydrauliques, si la puissance spécifique du cours d'eau est assez importante, on pourra modéliser le transport solide via une analyse de contrainte de cisaillement.

Bibliographie

- (2002). Dam removal: Science and Decision Making. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, New York. 207 p.
- Ahearn, D.S. and Dahlgren, R.A. (2005). Sediment and nutrient dynamics following a low-head dam removal at Murphy Creek, California. *Limnology and Oceanography*. 50(6): 1752-1762.
- Amos R.A. (2008). Upstream river responses to low head dam removal. Thesis. 160 p.
- Burroughs, B.A., Hayes, D.B., Klomp, K.D., Hansen, J.F. and Mistak, J. (2009). Effects of Stronach Dam removal on fluvial geomorphology in the Pine River, Michigan, United States. *Geomorphology*. **110**(3-4): 96-107.
- Cantelli, A., Paola, C. and Parker, G. (2004). Experiments on upstream-migrating erosional narrowing and widening of an incisional channel caused by dam removal. *Water Resources Research*. 40(3): W03304.
- Cheng, F., and Granata, T. (2007). Sediment transport and channel adjustments associated with dam removal: Field observations. *Water Resources Research*. 43(3): W03444.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H., Orr, C.H., Selle, A.R., Sethi, S.A. and Harbor, J.M. (2005). Stream ecosystem response to small dam removal: Lessons from the Heartland. *Geomorphology*. 71(1-2): 227.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H. and Harbor, J.M. (2003). Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. *Water Resources Research*. 39(1): art. no.-1011.
- Evans, J.E., Levine, N.S., Roberts, S.J., Gottgens, J.F. and Newman, D.M. (2002). Assessment using GIS and sediment routing of the proposed removal of Ballville Dam, Sandusky River, Ohio. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(6): 1549-1565.
- Malavoi, J.R., (2006). Etude de faisabilité de l'arasement de seuils sur la Corrèze à Tulle. Rapport Malavoi/Biotec. 52 p.
- Pizzuto, J. (2002). Effects of dam removal on river form and process. *BioScience*. 52(8): 683-691.

Fiche n°2 Réactivation de l'érosion latérale en amont, dans l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide

Analyse bibliographique

Le modèle de formation du lit suite à l'effacement d'un barrage développé par Doyle (2003) montre une incision du lit dans l'ancienne retenue (fig. 1). Si cette incision se poursuit jusqu'à ce que les berges atteignent une hauteur et une pente critique, l'élargissement du lit se mettra en place via un glissement des berges sous l'effet de la gravité (stade D du modèle). Une grande quantité de sédiments sera alors exportée à cause de l'érosion des berges, ce qui stoppera la dégradation du lit.

Par la suite, le dépôt de sédiments dans le lit réduisant la hauteur de berges ainsi que l'établissement de la végétation et la baisse du niveau de la nappe au niveau du réservoir permettront de diminuer l'érosion des berges et d'approcher des conditions d'équilibre.

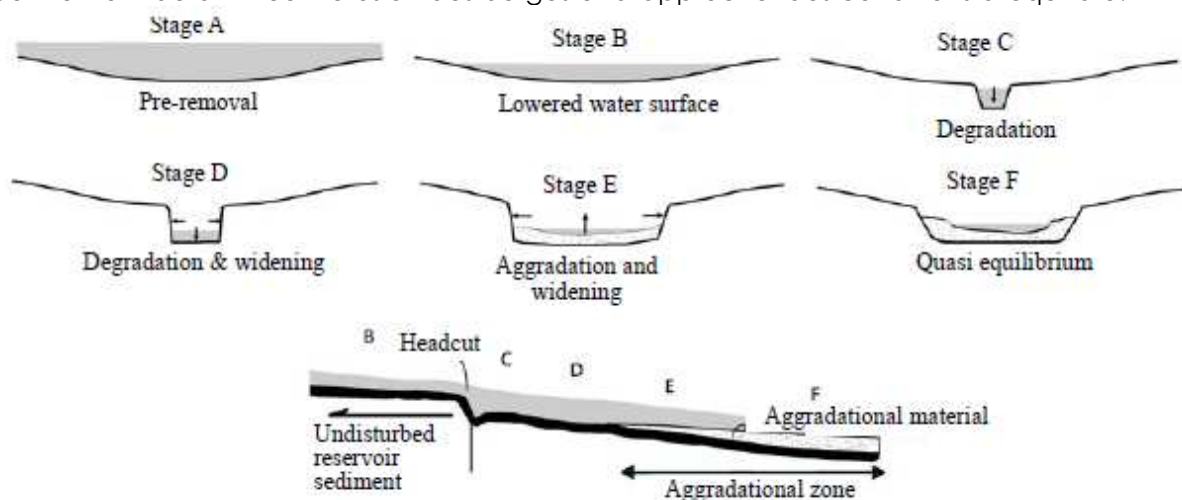


Figure 19 : modèle d'ajustement du lit dans l'ancienne retenue suite à un effacement de barrage (Doyle, 2003).

Processus d'Érosion latérale

Tout comme l'érosion verticale du lit, l'ajustement latéral est très sensible aux caractéristiques des sédiments présents dans l'ancien réservoir et au rythme de migration du front d'érosion régressive.

Simon et al. (1997) ont montré que les lits avec des berges sableuses répondent à une perturbation d'abord par élargissement et avec une incision limitée, alors que les lits avec des berges argileuses répondent d'abord par l'incision et un faible élargissement, ce qui limitera le sur-alluvionnement aval.

Pour des berges cohésives l'érosion du lit est d'abord due à des phénomènes géotechniques plutôt qu'hydrauliques car l'érosion fluviale des berges est négligeable en comparaison à la quantité de matériaux exportés après glissement (Doyle, 2002).

Les ruptures de berges ont été le plus souvent observées à la fin d'une période de pluie, quand elles sont saturées en eau. La saturation des berges joue donc un rôle important dans la déstabilisation de celles-ci (Doyle, 2002).

Une crue immédiatement après un arasement de seuil, pendant la période où les berges sont saturées, aura plus d'impact sur la morphologie du lit qu'une crue qui se produirait une fois les berges stabilisées.

Un arasement progressif du seuil améliorera la stabilité des sédiments. Ainsi le front d'érosion migrera plus lentement, limitant les exportations à l'aval et les glissements de berges dans la retenue (phénomène observé pour le seuil de Rockdale, Doyle 2003).

Cependant, la géométrie du lit sur le long terme est indépendante de la façon dont le seuil a été arasé.

Simon et al. (1999) ont développé un modèle qui permet d'approximer la profondeur jusqu'à laquelle un lit pourra être incisé avant que commence l'élargissement du lit (fig. 2). Ce modèle permet de prendre en compte l'effet de l'abaissement du niveau de la nappe et l'établissement de la végétation sur la stabilité à long-terme.

Remarque : La végétation, avec un fort effet saisonnier, joue un rôle dans la stabilité des berges et le profil du lit. Cependant, après un dérasement de seuil, l'effet de la végétation prendra au moins plusieurs mois voire des années avant de se manifester. Dans un premier temps les changements morphologiques seront essentiellement contrôlés par le niveau et le battement de la nappe (Doyle, 2002).

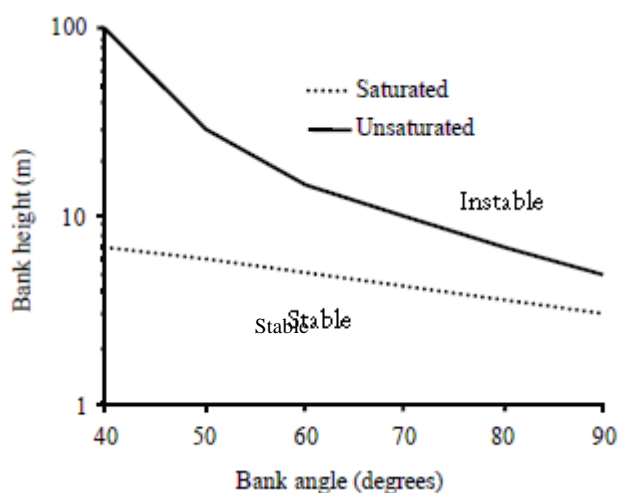


Figure 2 : Graphique présentant la stabilité des berges (Doyle, 2002 ; d'après Simon et al. 1999).

Un avantage de ce modèle est que la hauteur critique proposée peut être une bonne approximation de la profondeur maximum à laquelle le lit pourra être incisé. Toute incision supplémentaire induira un élargissement du lit, qui en retour réduira le risque d'incision subséquente.

Exemple du seuil de Stronach

Il existe peu d'études qui portent sur le suivi de l'érosion latérale après un arasement de seuil. Le seuil de Stronach (5,4 m de haut) sur la rivière Pine (débit moyen journalier de 8,1 m³/s) dans le Michigan a été effacé très progressivement : 2,1 m la première année, puis ensuite 60 cm par an pendant 3 ans et enfin 1,5 m la dernière année. Burroughs (2009) montre que l'érosion principalement verticale a été plus importante près du seuil, et maintenue dans la retenue les premières années. Une des modifications morphologiques de cette érosion a été l'augmentation de la pente des berges à proximité de l'ancien seuil.

Deux transects à l'amont immédiat du seuil ont présenté un comportement exceptionnel par rapport à la diminution générale d'érosion vers l'amont. Ces deux sites ont eu une érosion beaucoup plus forte que les autres sites à proximité, à cause d'une érosion latérale qui s'est traduite par un élargissement du lit (fig. 3). La pente des berges au niveau de ces transects avait d'ailleurs diminué en 2006.

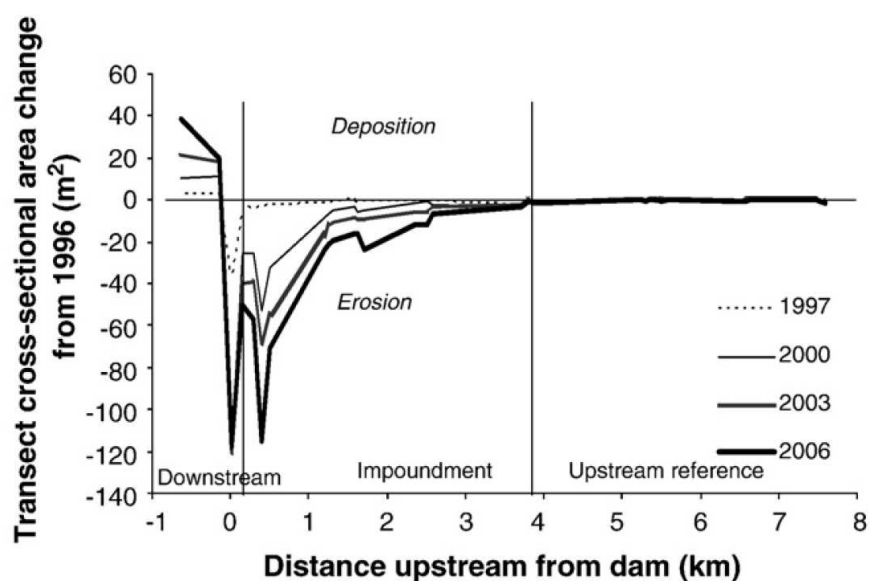


Figure 3 : évolution des sections en travers après l'effacement progressif du seuil de Stronach (1997) (Burroughs, 2009).

A la fin du suivi, 9 ans après le début de l'arasement, la largeur du lit dans la retenue est devenue proche de celle du site de référence amont : la pente dans la retenue n'est plus que légèrement supérieure. Cependant des changements apparaissent encore sur la rivière Pine. Si l'incision dans l'ancienne retenue a semblé ralentir 3 ans après l'effacement complet, l'érosion latérale, l'augmentation de taille du substrat et la formation des faciès va probablement continuer pendant plusieurs années.

Des essais réalisés en laboratoire ont montré qu'après un effacement de barrage le rétrécissement et l'incision du lit est rapide mais que ces processus sont suivis par un élargissement beaucoup plus long. Ces processus d'incision ont été observés successivement à l'amont du seuil sur toute la longueur de l'ancienne retenue, comme une vague de

migration, avec un décalage temporel et une diminution d'amplitude vers l'amont (Cantelli, 2004). Avec le temps toutes les largeurs de l'ancienne retenue convergent vers une asymptote qui montre une érosion progressive des berges pour arriver vers des conditions d'équilibre (fig. 4).

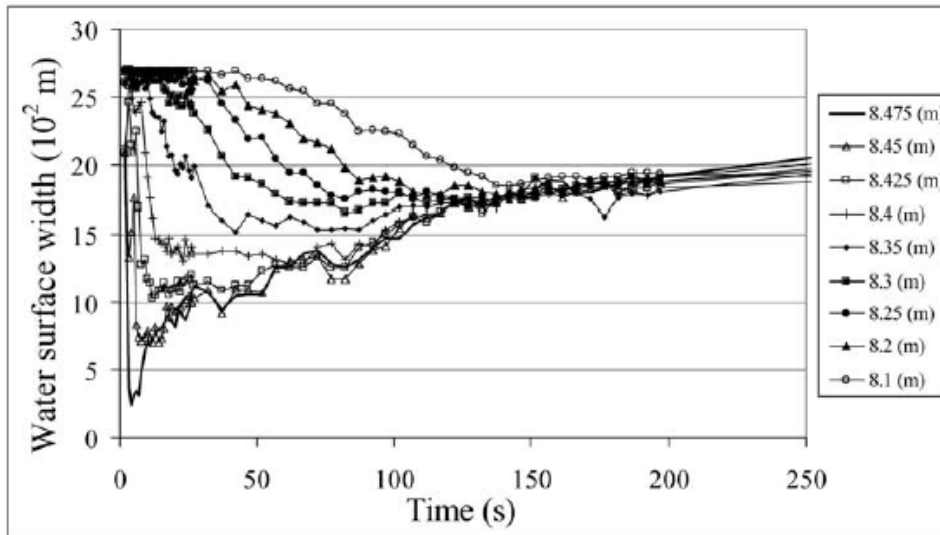


Figure 4 : Evolution de la largeur du lit en fonction du temps en plusieurs points à l'amont d'un seuil effacé (chaque ligne correspond à une section en travers) (Cantelli, 2004).

Migration du lit

Les seuils généralement conçus pour ne pas être contournés ont un effet stabilisateur sur le tracé du cours d'eau. Suite à l'effacement d'un seuil, des processus géodynamiques peuvent se remettre en place sur le tronçon concerné par ce type de restauration, en fonction du tracé en plan du cours d'eau (Amos, 2008). De nombreuses formules existent pour estimer le rythme de migration, on sait que celui-ci sera maximum pour un rayon de courbure compris entre deux et trois fois la largeur du lit (Julien, 2002 dans Amos, 2008).

Études préalables à l'effacement d'un ouvrage :

Afin d'évaluer ce risque ainsi que son emprise spatiale :

- ▶ Calculer le taux annuel d'érosion latérale, et la puissance spécifique du cours d'eau donnera une idée de sa capacité d'ajustement.
- ▶ Modéliser et analyser la stabilité des berges sur l'emprise du remous solide ou estimer l'érodabilité des berges en fonction de leurs caractéristiques sédimentologiques permettra d'affiner la prise en compte de ce risque.
- ▶ Le cas échéant, prévoir enrochement et végétalisation pour bloquer l'érosion si des enjeux socio-économiques majeurs sont menacés. Il peut être envisageable d'acquérir les terrains érodables en amont.

Burroughs (2009) lors du projet d'effacement du seuil de Stronach sur la rivière Pine dans le Michigan a mis en place des suivis de géométrie du lit dans la retenue, à l'aval et sur un site de référence à l'amont, 6 ans avant l'effacement complet et 2 ans avant le début de l'arasement progressif. Ces transects ont permis de suivre les changements attendus au niveau du transport sédimentaire (quantité de sédiments érodés, déposés, changement de surface des sections en travers) et de la géométrie du lit (incision, élargissement, pente du lit et des berges...).

Bibliographie :

- Amos R.A. (2008). Upstream river responses to low head dam removal. Thesis. 160 p.
- Cantelli, A., Paola, C. and Parker, G. (2004). Experiments on upstream-migrating erosional narrowing and widening of an incisional channel caused by dam removal. *Water Resources Research*. **40**(3): W03304.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H. and Harbor, J.M. (2003). Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. *Water Resources Research*. **39**(1): art. no.-1011.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H., Selle, A.R., Stofleth, J.M. and Harbor, J.M. (2003). Predicting the depth of erosion in reservoirs following dam removal using bank stability analysis. *International Journal of Sediment Research*. 18(2): 115.
- Burroughs, B.A., Hayes, D.B., Klomp, K.D., Hansen, J.F. and Mistak, J. (2009). Effects of Stronach Dam removal on fluvial geomorphology in the Pine River, Michigan, United States. *Geomorphology*. **110**(3-4): 96-107.

Fiche n°3 Risque de sur-alluvionnement en aval

Analyse bibliographique

Après un dérasement d'ouvrage, on constate que l'ancienne retenue, puits de sédiments se transforme en source de sédiments. Dans quasiment tous les cas d'effacement la concentration de matières en suspension (MES) à l'aval après effacement est plus importante qu'à l'amont et surtout plus importante qu'avant l'effacement (Tabl. 1).

Tableau 2 : Concentration maximale en MES à l'aval, avant et après pour plusieurs cas d'effacements de seuils (Bushaw-Newton 2002 ; Doyle, 2003 ; Ahearn 2005).

Nom du seuil	Hauteur seuil (m)	débit moyen annuel (m3/s)	nature de sédiments dans la retenue	Concentration max en MES à l'aval après effacement (g/l)	Concentration max en MES à l'aval avant effacement (g/l)
Rockdale	3,3	2,7	Argiles et limons près du seuil - sable en amont	1,4	0,4
Lavalle	2	~6,5	Peu de sédiments (Chasses régulières)	3,1	0,3
Camanche	3	tête de BV (12 km ²)	Argiles et limons près du seuil - sable et graviers en amont	2	0,057
Manatawny	2	3,7	Sable et graviers	0,0136	0,005

A noter que ces concentrations diminuent rapidement avec la distance indiquant un net dépôt de fines.

Remarque : 48 h après l'effacement du seuil de Rockdale, la concentration en MES, 380 m à l'aval de l'ancien seuil, était revenue quasiment au même niveau qu'à l'amont (Doyle et al., 2003).

La taille des sédiments présents dans la retenue est un paramètre important. Si le dépôt de sédiments fins à l'aval présente un risque vis-à-vis du colmatage des habitats ainsi qu'une toxicité possible selon l'utilisation anthropique du bassin amont, les sédiments plus grossiers entraînés (sable, graviers...) impliquent des changements morphologiques plus évidents (Rathburn, 2003).

Parmi ces changements, une augmentation du ratio largeur/profondeur à l'aval (réduction de profondeur et augmentation de la largeur) liée au sur-alluvionnement et à l'augmentation des processus érosifs latéraux, si les berges sont érodables, est fréquente (Burroughs, 2009).

Exemple du seuil de Stronach

Après le dérasement du seuil de Stronach (5,4 m de haut) dans le Michigan, le premier kilomètre à l'aval de l'ouvrage stockait 14% des sédiments exportés de l'ancienne retenue (majoritairement du sable). Selon Burroughs (2009), l'exhaussement de sédiments dans le lit aval et la diminution de la hauteur d'eau a favorisé des débordements pendant les crues et le dépôt de sédiments dans la plaine alluviale (jusqu'à 50 cm de dépôts). A la fin de l'étude, 9 ans plus tard, ce ratio avait retrouvé sa valeur d'avant travaux.

Remarque : Une attention particulière doit être portée aux infrastructures situées dans le lit majeur aval. Le risque d'apport massif dans un réservoir aval est également à prendre en compte (Burroughs, 2009).

Le dépôt de sédiments à l'aval de l'ancien seuil peut réduire temporairement la qualité de l'habitat recouvrant d'abord de fines les sédiments grossiers qui composaient les radiers et comblant les mouilles (Wohl, 2000). Toutefois les auteurs constatent généralement après 1 an une augmentation de la richesse spécifique de poissons (notamment en espèces lotiques) grâce à la migration des poissons vers les nouveaux habitats créés dans l'ancienne retenue ou libérés par l'effacement de l'ouvrage. (cf. Qualité d'habitat et faune aquatique après arasement)

Migration des sédiments

L'évolution dans le tronçon aval, des sédiments libérés suite à un arasement ou dérasement est décrite comme une vague de sédiments qui translate vers l'aval par bouffées ou qui est simplement dispersée. Doyle (2002) rappelle que la vitesse de migration de ces alluvions est fonction de la taille des sédiments transportés, de l'hydrologie du bassin versant et des caractéristiques du lit et de la zone alluviale à large échelle. Cette vague de sédiments dont l'amplitude diminue et la longueur d'onde augmente avec la distance causera des faibles changements dans un tronçon à haute énergie, en revanche un tronçon avec une diminution de pente ou un élargissement de la vallée sera plus affecté morphologiquement. Il y a donc une nécessité de repositionner l'effacement d'un seuil dans son contexte de bassin versant.

Les changements morphologiques induits par la propagation de cette vague sédimentaire comprennent une « fossilisation » temporaire des radiers par des sédiments fins, un dépôt principalement en bordure du lit avec une augmentation de la largeur des bancs (Walter, 2010), une augmentation du méandrement voire l'apparition d'un tressage entrecoupé d'épisodes d'incision.

La migration de ces sédiments peut être stoppée par une stabilisation liée à un développement de végétation alluviale pionnière ou à une rupture de pente. La vitesse de migration de ces sédiments est très variable, elle peut aller de 0 (Navarro River, Californie où il y a eu une simple dispersion (Hansler et al., 1996 dans Doyle, 2002) à 1-2 km / an (Kuwai River, Nouvelle Zélande où le rythme est contrôlé par une alternance de gorges et de zones de sédimentation plus large (Hoey, 1994 dans Doyle, 2002).

A l'aval et à long terme, comme pour le substrat présent dans la retenue, un substrat plus diversifié devrait apparaître avec une distribution de la granulométrie significativement plus importante (Burroughs, 2009).

Rappelons qu'une des principales différences géomorphologiques entre les tronçons amont et aval des seuils se situe au niveau de la granulométrie. On constate généralement un déficit net de la fraction grossière et sableuse à l'aval des seuils (fig. 1). On peut donc supposer que l'effacement rééquilibrera ces courbes vers des fractions moyennes plus abondantes à l'aval.

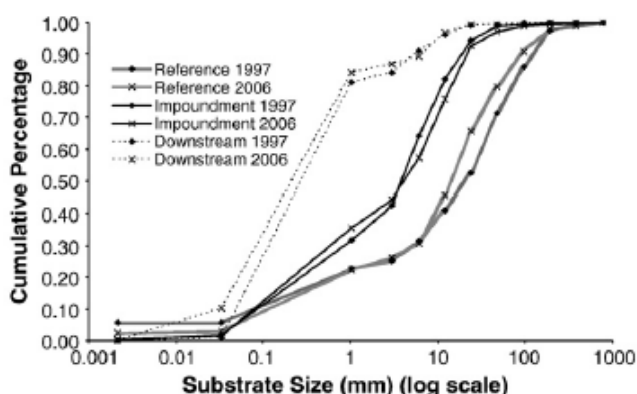


Figure 20 : Distribution des pourcentages cumulés de la taille des sédiments pour chaque tronçon suivi de la rivière Pine, avant et après arasement du seuil de Stronach (Burroughs, 2009).

Types de Gestion des sédiments

Afin de gérer les sédiments de l'ancienne retenue et les perturbations qu'ils peuvent induire sur les tronçons aval, Randle (2003) propose différentes alternatives.

1- Érosion « naturelle » par la rivière : les sédiments sont érodés et libérés à l'aval. Cette solution est souvent la moins coûteuse. Cependant, les risques liés à la qualité de l'eau peuvent être inacceptables. Un arasement d'abord partiel du barrage peut être envisagé. Le rythme et la période auxquels s'effectue la vidange doivent prendre plusieurs paramètres en considération :

- éviter que les sédiments grossiers soient tous mobilisés en une seule fois et réduisent la capacité d'écoulement du tronçon aval (inondation),
- éviter pour le milieu aquatique que la quantité de sédiments fins soit trop importante à l'aval, ou alors seulement sur une courte période (ce qui aura moins d'impact qu'un effet chronique),
- choisir une période de développement durant laquelle les espèces cibles peuvent potentiellement mieux résister aux perturbations.

2- Restauration mécanique par curage, transport (pompage, camion...) puis stockage des sédiments dans des bassins de décantation. Les sédiments grossiers peuvent être laissés pour recréer de l'habitat à l'aval.

3- Stabilisation des sédiments : cette méthode consiste à excaver un lit mineur dont la taille est évaluée sur la base des caractéristiques hydrologiques du bassin versant (crues morphogènes). La végétalisation et l'arasement partiel, permet une stabilisation des sédiments.

La mise en place d'un programme de suivi permettra de suivre la performance du projet, de réagir en temps réel et de fournir des informations applicables à d'autres projets.

Études préalables à l'effacement d'un ouvrage

- ▶ Estimer le mode et la vitesse de propagation de sédiments dans le tronçon aval. Il existe aujourd'hui des modèles permettant de simuler le transport de sédiments suite à l'effacement d'un barrage (Cui, 2006).
- ▶ Une évaluation des risques écologiques liés au sur-alluvionnement éventuel, notamment pour certaines espèces sensibles (certains mollusques comme les moules par exemple) sera nécessaire ainsi qu'une évaluation des risques autres qu'écologiques (bouchage d'exutoires de drains ou de réseaux divers, réduction de la capacité d'écoulement dans des zones à enjeux forts, etc.).
- ▶ Etudier les risques (et bénéfiques) de la reconnexion éventuelle de la zone alluviale aval.

Walter (2010) propose un protocole intéressant pour obtenir un état de référence du lit avant effacement du seuil et voir l'impact du sur-alluvionnement. Il réalise une étude des photographies aériennes croisées avec des données hydrologiques (débit et hauteur d'eau). Burroughs (2009) utilise lui des campagnes de relevés de terrain pendant de nombreuses années avant effacement qui permettront de comprendre les évolutions dû à l'effacement de l'ouvrage.

- ▶ Cartographier les zones de dépôts potentielles (les bancs) et la largeur du lit à partir des photos aériennes.
- ▶ Faire des relevés de géométrie du lit, de pente, de granulométrie et éventuellement de vitesse dans la retenue, à l'amont (site de référence) et immédiatement à l'aval.

Bibliographie

- Ahearn, D.S. and Dahlgren, R.A. (2005). Sediment and nutrient dynamics following a low-head dam removal at Murphy Creek, California. *Limnology and Oceanography*. 50(6): 1752-1762.
- Burroughs, B.A., Hayes, D.B., Klomp, K.D., Hansen, J.F. and Mistak, J. (2009). Effects of Stronach Dam removal on fluvial geomorphology in the Pine River, Michigan, United States. *Geomorphology*. 110(3-4): 96-107.
- Bushaw-Newton, K.L., Hart, D.D., Pizzuto, J.E., Thomson, J.R., Egan, J., Ashley, J.T., Johnson, T.E., Horwitz, R.J., Keeley, M., Lawrence, J., Charles, D., Gatenby, C., Kreeger, D.A., Nightengale, T., Thomas, R.L. and Velinsky, D.J. (2002). An integrative approach towards understanding ecological responses to dam removal: The Manatawny Creek Study. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(6): 1581-1599.
- Cui, Y., Parker, G., Braudrick, C., Dietrich, W.E. and Cluer, B. (2006). Dam Removal Express Assessment Models (DREAM). Part 1: Model development and validation. *Journal of Hydraulic Research*. 44(3): 291-307.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H. and Harbor, J.M. (2003). Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. *Water Resources Research*. 39(1): art. no.-1011.
- Pizzuto, J. (2002). Effects of dam removal on river form and process. *BioScience*. 52(8): 683-691.
- Randle, T. J. (2003). 6- Dam Removal and Sediment Management. *Dam Removal Research, Status and Prospects*. The Heinz Center's 165 p.
- Rathburn, S. L. and Wohl, E.E. (2003). 7- Sedimentation Hazards Downstream from Reservoirs. *Dam Removal Research, Status and Prospects*. The Heinz Center's 165 p.
- Skalak, K., Pizzuto, J. and Hart, D. (2009). Influence of Small Dams on Downstream Channel Characteristics in Pennsylvania and Maryland: Implications for the Long-Term Geomorphic Effects of Dam Removal. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 45(1): 97-109.
- Walter, C. and Tullos, D.D. (2010). Downstream channel changes after a small dam removal: Using aerial photos and measurement error for context; Calapooia River, Oregon. *River Research and Applications*. 26(10): 1220-1245.
- Wohl, E.E. and Cenderelli, D.A. (2000). Sediment deposition and transport patterns following a reservoir sediment release. *Water resources research*. 36(1): 319-333

Fiche n°4 Abaissement de la nappe d'accompagnement en amont

Analyse bibliographique

ATTENTION : Peu de données bibliographiques semblent avoir été publiées sur ce sujet.

Le débit des cours d'eau peut être modifié le long de leur parcours par des échanges avec la nappe alluviale à laquelle il est étroitement associé. Un seuil en rivière, par sa fonction de retenue peut avoir pour effet de relever et stabiliser le niveau de la nappe à son amont, dans la zone alluviale à proximité de celui-ci. Ce phénomène dépend cependant beaucoup du contexte hydrogéologique et de l'état de colmatage de la retenue. Les aménagements anthropiques, notamment le pompage que l'on retrouve fréquemment au niveau des seuils, peuvent également modifier les flux entre la nappe et la rivière.

Vernoux (2009) rappelle que les tronçons fortement colmatés limitent les échanges avec la « zone hyporhéique » (c'est-à-dire la zone de mélange des eaux de la rivière et de la nappe). La profondeur et l'étendue de cette zone déterminées par la géomorphologie du cours d'eau, influencent fortement les possibilités d'interactions entre l'eau et les microorganismes du sol et finalement les processus de filtration (élimination des particules en suspension, biodégradation de certains composés...).

La perméabilité de cette zone et le gradient hydraulique des écoulements déterminent le sens et l'intensité des échanges entre l'eau de surface et la nappe souterraine.

Le dépôt de fines à l'amont d'un seuil peut entraîner un colmatage du lit qui réduira l'alimentation de la nappe par la rivière. L'effacement de ce seuil jugulera cet effet de colmatage et rendra les sédiments plus poreux ce qui favorisera les échanges entre la rivière et la nappe. Le niveau de la nappe s'équilibrera alors sur le niveau du cours d'eau.

Dans tous les cas, un seuil qui représente un ouvrage de faible hauteur ne peut jouer qu'un rôle très localisé sur le niveau de la nappe par rapport à l'ensemble du linéaire du cours d'eau. L'effet de l'arasement d'un seuil n'aura pas une étendue supérieure et dépendra essentiellement du contexte géologique.

Un Bureau d'Etudes américain, Shaw Environmental (2006), a réalisé une étude sur l'effet de l'arasement de seuils sur le niveau de la nappe alluviale en Alaska. De fortes incertitudes sur les paramètres de calage et notamment la conductivité hydraulique de l'aquifère les ont conduits à tester plusieurs cas de figure. Il ressort qu'en présence du seuil, plus la conductivité hydraulique augmente, moins l'effet de la retenue joue sur le niveau de la nappe.

Finalement, pour toutes les valeurs de conductivité, le niveau de la nappe diminue au droit de l'ouvrage après effacement. Cependant, ces changements n'apparaissent qu'à proximité de l'ouvrage. A 150 m de l'ouvrage, à l'amont comme à l'aval, le niveau de la nappe est le même dans une configuration avec ou sans seuil. Pour un seuil de 1,5 m sur un

cours d'eau de 15 m de large à l'amont de la retenue avec un débit moyen de 4,2 m³/s, l'affaissement maximal de la nappe est de 0,54 m après arasement, avec une conductivité hydraulique de 30 m/jrs.

Etudes préalables à l'effacement d'un ouvrage

- ▶ Etudier les relations entre le niveau de la nappe et celui de la retenue en suivant par exemple les niveaux piézométriques avant et après vidange totale ou partielle de la retenue (si une vidange temporaire est possible).

Remarque : Les zones humides de bord de rivière sont généralement alimentées de façon importante soit par l'aquifère, en période de basses eaux pour la rivière, soit par la rivière en période de hautes eaux. Une variation de la hauteur de la nappe est susceptible de provoquer une modification des processus physico-chimiques de la zone humide (oxydation, eutrophisation...). Un suivi donnera des informations sur une éventuelle modification de l'hydropériode (évolution dans le temps de la hauteur d'eau) dont dépend la communauté végétale en place.

- ▶ Modélisation hydrogéologique de la zone en configuration avec et sans seuil, en période de hautes et basses eaux.

Bibliographie

Shaw Environmental, inc. (2006). The effect of dam removal on infiltration to the shallow water table beneath Ship creek. 19 p.

Vernoux, J.F., Lions, J. and Seguin, J.J. (2009). Synthèse bibliographique sur les relations entre eau souterraine et eau de surface en lien avec la DCE. Rapport BRGM/RP-57044-FR, 153 p.

Fiche n°5 Remise en cause de l'équilibre écologique mis en place depuis l'installation du seuil

Analyse bibliographique

ATTENTION : La perturbation d'un éventuel équilibre écologique qui aurait pu se mettre en place dans la plaine alluviale en amont d'un seuil est fréquemment évoqué mais ne semble pas avoir fait l'objet d'études publiées.

Les zones humides alluviales sont, par définition, établies dans le lit majeur des cours d'eau auxquels elles doivent leur existence, plus ou moins ancienne, et leur fonctionnement actuel. Sur les cours d'eau naturels, l'érosion latérale de la rivière permet au lit de migrer dans sa plaine alluviale et de créer, par des processus de rescindement, divers types de « bras morts ». Les plaines alluviales conservent généralement la mémoire de ces processus, ce qui rend complexe la mosaïque des milieux humides hérités et leur fonctionnement hydroécologique.

Les zones humides alluviales que sont les annexes hydrauliques, les ripisylves de bois tendres, les prairies inondables, etc., représentent une grande variété de milieux qui se traduit par une diversité biologique exceptionnelle. De plus, par leur continuité longitudinale, ces zones humides forment des corridors écologiques qui permettent la circulation et la diffusion des espèces tant animales que végétales (Zone Humide Infos, 2006).

Il faut également rappeler le rôle épurateur des zones humides alluviales, fonction du type de végétation, de sa densité et de la durée et la périodicité des inondations (Oraison et al, 2011).

Nature des zones humides créées par les seuils

Les ouvrages transversaux ont un effet stabilisateur sur le profil du cours d'eau, ce qui limite la migration du lit au droit de l'ouvrage mais permet parfois le développement de zones humides en amont, le long de la retenue, notamment grâce à l'augmentation de la fréquence de débordement en période de hautes eaux et à l'alimentation par la nappe en période de basses eaux.

Cependant, les zones humides naturelles sont caractérisées par des processus saisonniers d'humidification et d'assèchement liés aux variations du niveau de la nappe (Barnaud, 2007). L'intégrité de cette zone et sa composition végétale dépendront de cette hydropériode (Vernoux, 2009). Chaque espèce ayant une hydropériode favorable.

Dans le cas des seuils, ces battements n'existent pas ou plus, même s'ils ont pu exister à l'époque où ces ouvrages avaient une fonction et où les vannes étaient ouvertes régulièrement. Les zones humides ainsi créées présentent généralement actuellement un

faible intérêt au plan écologique même si elles peuvent avoir une valeur économique (Barnaud, 2007), surtout en comparaison de leurs analogues fluviaux caractérisés par leur dynamique.

De plus, ces milieux sub-naturels créés il y a parfois des siècles, ont vu au cours des dernières décennies un bouleversement par rapport aux usages traditionnels : intensification des pratiques agricoles ou au contraire abandon des prairies et fermeture du milieu, drainage du sol par les peupleraies... (Barnaud, 2007).

Effets de l'effacement des seuils

Plusieurs auteurs affirment que la perte de connexion avec d'éventuelles zones humides ou annexes hydrauliques à l'amont de l'ancien seuil après incision du lit sera compensée par une augmentation de la connectivité aval ou la création de zones humides le long de la future ripisylve (Burroughs, 2009 ; Bednarek 2001 ; Gregory, 2002 ; Graf, 2002). Ce phénomène semble toutefois concerner les seuils qui jouent un rôle de stockage ou les grands barrages.

Etudes préalables à l'effacement d'un ouvrage

- ▶ Faire l'inventaire des zones humides de la zone, et essayer de caractériser leur régime hydrologique (apports souterrains, apports atmosphériques et de surface...).
- ▶ Etudier l'incidence du seuil sur la ligne d'eau permet d'estimer l'effet du seuil sur les connexions latérales.

Par exemple, Sogreah a réalisé une étude hydromorphologique sur la Cèze en 2008, dans laquelle ils se sont intéressés au niveau d'eau au droit des seuils en fonction de différents débits. Le seuil de Hamelines (2,5 m) situé sur un tronçon à faible pente et qui ne présente pas de surlargeur par rapport au cours d'eau est noyé dès la crue annuelle. L'effacement de ce seuil n'affectera pas à priori, la fréquence des débordements. Le seul impact possible de l'effacement sur les zones humides sera un éventuel affaissement du niveau de la nappe.

Cependant, un seuil de même hauteur, plus large, à l'amont du précédent est dénoyé jusqu'à une crue cinquantennale. L'effacement de ce seuil risque de modifier la fréquence de débordement en plus de l'affaissement du niveau de la nappe alluviale.

- ▶ Effectuer un suivi des variations de hauteur de la nappe : **voir fiche** *Abaissement de la nappe d'accompagnement en amont*

Bibliographie

(2002). Dam removal: Science and Decision Making. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, New York. 207 p.

Barnaud, G. and Fustec, E. (2007) Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ? 296 p.

Bednarek, A.T. (2001). Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*. 27(6): 803–814.

Burroughs, B. A., Hayes, D.B., Klomp, K.D., Hansen, J.F., and Mistak, J. (2009). Effects of Stornach Dam removal on fluvial geomorphology in the Pine River, Michigan, United States. *Geomorphology* 110 : 96–107

Gregory, S., Li, H., AND Li, J. (2002). The Conceptual Basis for Ecological Responses to Dam Removal. *BioScience* 52(8): 713-723.

Oraison, F., Souchon, Y. and Van Looy, K. (2010). Restaurer nos cours d'eau et maîtriser les nutriments ; une voie commune ? Synthèse bibliographique. Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, Lyon. 42 p.

Sogreah (2008). Etude hydromorphologique du transport et de la gestion des sédiments de la Cèze. Rapport de phase 1, Diagnostic de l'état actuel. 95 p.

Vernoux J.F., Lions J., Seguin J.J. (2009). Synthèse bibliographique sur les relations entre eau souterraine et eau de surface en lien avec la DCE, rapport BRGM/RP-57044-FR, 153 pages, 59 illustrations

Zones humides infos n° 51-52, 1er et 2ème trimestres 2006, Zones humides alluviales

Fiche n°6 : Médiocre qualité d'habitat sur les cours d'eau ayant subi une chenalisation

Analyse bibliographique

Le terme de chenalisation concerne toutes les interventions visant ou aboutissant de façon directe ou indirecte à une accélération de l'écoulement par modification du tracé en plan, de la géométrie en travers ou de la pente d'un cours d'eau : recalibrage, rectification, endiguement, protection de berge, entretien lourd. La protection locale contre les inondations des terrains agricoles a été l'objectif dominant de la plupart de ces aménagements.

Ces travaux ont été fréquemment accompagnés par des ouvrages de stabilisation ayant pour but de limiter les processus érosifs induits par l'aménagement lui-même : seuils de stabilisation du fond du lit et protections de berges étendues. En cas d'effacement de seuil, les problèmes liés à la chenalisation persisteront ou réapparaîtront.

La rémanence de l'impact d'un aménagement peut être directement reliée à l'énergie potentielle du cours d'eau. Le seuil d'énergie potentielle spécifique (EPS) de 35 W/m² proposé par Brookes en 1988, permet de distinguer les systèmes à faible énergie dans lesquels toute intervention présente un caractère d'irréversibilité. Au delà de ce seuil, il existe vraisemblablement une large gamme de réponses (in Wasson et al., 1995).

Les impacts physiques de ces aménagements, fonction de la puissance du cours d'eau, correspondent à la mise en place d'une morphologie, une granulométrie et des écoulements homogènes, à un surdimensionnement du lit et à une perte de connectivité transversale.

Ces impacts physiques correspondent à des altérations des processus fonctionnels :

- Une capacité d'auto épuration réduite (accélération du transfert et perte des structures de rétention comme les mouilles),
- Un fonctionnement trophique perturbé (suppression des apports externes de matière organique comme les arbres, et des structures de rétention dans le chenal).

Au niveau des peuplements, Wasson et al. (1995) montrent que ces aménagements induisent une réduction dans des proportions considérables, de l'ordre de 80%, des biomasses piscicoles, même 50 ans après les travaux. Les poissons d'intérêt halieutique étant systématiquement les plus affectés. Les trois causes principales de la réduction des peuplements sont :

- la disparition des structures d'abris,

- la réduction de l'habitabilité du chenal,
- la perte de connectivité avec les annexes hydrauliques.

Dans la plupart des cas, sur les cours d'eau disposant d'une énergie suffisante, la suppression d'un seuil sur un tronçon même chenalisé permettra de réactiver les processus d'ajustement du lit et les habitats des biocénoses aquatiques et ripicoles se reconstitueront rapidement.

Des aménagements complémentaires à l'effacement du seuil devront par contre éventuellement être prévus pour initier les processus de restauration sur les cours d'eau peu puissants.

Préconisation d'études préalables à l'effacement d'un ouvrage

Voir fiche : **Qualité d'habitat et faune aquatique après arasement**

Bibliographie

Wasson, J.G., Malavoi, J.R., Maridet, L., Souchon, Y. and Paulin, L. (1998). Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Editions Cemagref, 14: 158 p.

Fiche n°7 :Mortalité de la ripisylve aux racines exondées

Analyse bibliographique

Il est effectivement possible, à cause de l'abaissement du niveau de l'eau à l'amont du seuil qu'une forte mortalité de la ripisylve apparaisse le long de l'ancienne retenue.

Cependant, la végétation s'établit très rapidement dans l'emprise de l'ancienne retenue après l'effacement d'ouvrages et les sédiments nus sont très rares. Orr (2006) montre que sur 13 sites dans le Wisconsin où la re-végétalisation s'est fait de manière naturelle, les plantes se sont établies dès la première année et ont couvert de manière importante tous les sites. Shafroth (2002) constate qu'au printemps, la re-végétalisation dense et naturelle de ces zones se fait en quelques semaines.

La banque de graines présente dans les sédiments ainsi que la dispersion de graines depuis les zones adjacentes participeront à la dynamique végétale des sols mis à jour dans l'ancienne retenue (Shafroth, 2002).

La diversité d'espèces les dix premières années après le dérasement, peut être très variable, avec des communautés dominées par quelques espèces et d'autres qui contiennent une grande variabilité d'espèces. Cependant, sur les sites où le seuil a été effacé depuis longtemps, la diversité d'arbres est importante (Orr, 2006). Ce qui n'est pas vrai pour les autres formes végétales (herbes, arbustes...).

Shafroth (2002) insiste sur l'importance des plantes colonisatrices qui pourront avoir une influence très longue sur la composition végétale d'un site (persistance d'individus à longue durée de vie, reproduction végétative, forte production de graines et aussi altération de l'environnement - modification de la chimie du sol). Ces plantes colonisatrices comprennent beaucoup d'invasives et d'exotiques. Sur les 13 seuils suivis par Orr (2006) dans le Wisconsin, la fréquence d'observation d'une espèce introduite : la baldingère faux-roseau (*P.arundinacea*) est négativement corrélé à la fréquence d'observation d'espèces herbacées natives de la zone.

Avec le temps la composition végétale de la zone émergée devient plus xérophile (Lenhart, 2000).

Quelques règles de bonne gestion sont à mettre en œuvre :

- ▶ Faciliter le transit des sédiments permet d'éviter la persistance d'espèces normalement transitoires dans les processus de successions végétales et ainsi de rajeunir les milieux humides. Favoriser la migration du chenal, au besoin en détruisant les digues est aussi un moyen de favoriser la création de nouveaux milieux humides.

- ▶ Contrôler la vidange du réservoir permet également d'encourager l'établissement d'espèces indigènes. L'apport saisonnier par l'amont de graines natives de la zone doit être pris en compte, ainsi que la période de germination des espèces végétales.
- ▶ Le développement d'espèces invasives peut diminuer la diversité et influencer les successions végétales. En cas de risque de contamination par des espèces invasives une restauration active peut être envisagée (dissémination de graines natives, création d'habitats, structure d'atténuation de l'érosion latérale), ce qui permettra de stabiliser les sédiments et d'initialiser le processus de succession végétale.

Etudes préalables à l'effacement d'un ouvrage

- ▶ Etat des lieux des espèces invasives présentes sur le bassin versant.

Bibliographie

- Lenhart, C.F. (2000). The vegetation and hydrology of impoundments after dam removal in southern Wisconsin. Master's thesis. University of Wisconsin, Madison. 165 p.
- Orr, C.H. and Stanley, E.H. (2006). Vegetation development and restoration potential of drained reservoirs following dam removal in Wisconsin. *River Research and Application* **22**: 281–295.
- Shafroth, P. B., Friedman, J.M., Auble, G.T., Scott, M.L. and Braatne, J.H. (2002). Potential responses of riparian vegetation to dam removal. *Bioscience* **52**(8): 703-712.

Fiche n°8 : Suppression d'un paysage de « plan d'eau » - Impact sociologique

Analyse bibliographique

La reconnaissance scientifique et institutionnelle de l'effacement d'ouvrages comme outil de restauration écologique des rivières et la mise en œuvre de ce principe par la Directive Cadre européenne sur l'Eau ainsi que le plan d'action national a créé un sentiment de menace et d'inquiétude chez les propriétaires de moulins et certains riverains. La protection de ce patrimoine est pour eux un enjeu majeur. De plus, sur le plan juridique l'effacement remet en cause les droits d'usages acquis historiquement.

Cependant, les ouvrages hydrauliques éventuellement concernés par des projets d'effacement sont ceux qui sont dépourvus de valorisation économique (utilisation de la chute d'eau) et parmi eux un grand nombre sont des structures récentes avec peu d'esthétique, construits pour l'irrigation ou l'industrie.

Ces ouvrages demeurent associés à des usages variés : pêche en retenue, irrigation, populiculture, paysage d'agrément (le déversement de l'eau sur les ouvrages), loisir... La transformation de ces usages demande une gestion hydraulique « à pleins bords » dans les biefs amont des moulins et révèle l'installation de nouvelles normes paysagères et esthétiques. La rivière « plan d'eau » est aujourd'hui valorisé (Barraud, 2009).

Une politique active aux États-Unis

La politique la plus active dans le domaine de l'effacement des ouvrages en tant qu'outil de restauration écologique des rivières est menée aux États-Unis où environ 798 ouvrages ont été supprimés sur les cours d'eau américains, dont plus de 350 depuis 1999 (source : American Rivers).

Les enjeux de sécurité publique liés à la vétusté des ouvrages (30% des projets d'effacement), les surcoûts liés à la réfection des ouvrages (30%), la restauration des axes de migration piscicoles, l'amélioration de la qualité de l'eau sont les raisons les plus invoquées pour justifier le démantèlement des ouvrages.

Si les barrages sont principalement effacés pour des raisons de sécurité et de viabilité économique, très peu le sont pour des raisons environnementales. En revanche, pour les seuils ce ratio est inversé.

Depuis les années 90, le nombre d'ouvrages arasés pour des raisons environnementales a fortement augmenté : de 10% à 47%. En même temps, la taille moyenne des ouvrages a diminué (de plus en plus de « simples » seuils sont effacés) même si la hauteur maximale a

augmenté (quelques grands barrages ont été détruits) (Pohl, 2002a).

Le processus s'accélère ces dernières années en relation avec l'âge des barrages (Orr, 2004), la demande sociale (relayée par le milieu associatif) de retrouver une continuité piscicole, les nouvelles opportunités de financement et les politiques actuelles (Pohl, 2002b).

L'acceptation du public, la clef de voûte d'un projet

Les facteurs écologiques et économiques donnent fréquemment naissance à des projets d'effacement de seuils, toutefois, l'acceptation du public aux changements sera le dernier facteur déterminant en faveur de l'arasement (Johnson, 2002).

Les principales inquiétudes du public vis-à-vis de l'effacement de seuil correspondent généralement (Johnson, 2002) :

- ▶ à l'hydrologie : est-ce que la rivière va s'assécher en été ? Est-ce que les inondations vont augmenter ?
- ▶ à l'aspect écologique et paysager : est-ce que les boues mises à jour dans l'ancienne retenue vont perdurer longtemps ? Est-ce que l'effacement ne va pas menacer les espèces protégées et favoriser l'installation d'espèces exotiques ou envahissantes ?
- ▶ aux enjeux de pêche : est-ce qu'on ne va pas perdre un poste de pêche ?
- ▶ aux aspects économiques : qui va posséder les terres immergées ? Combien l'effacement va-t-il coûter individuellement et à la communauté ? Est-ce que la valeur immobilière et foncière à proximité du seuil va baisser ?
- ▶ à la valeur historique et culturelle : quelle est la valeur historique du seuil ?

Si les questions d'hydrologie, de paysage ou encore de pêche sont généralement réglées par le retour d'expériences d'anciens effacements, certaines inquiétudes comme le financement du projet, la valeur historique et culturelle du seuil ou encore la protection d'espèces sont les principales raisons de l'avortement des projets (Lejon, 2009).

D'un point de vue économique, Sarakinos (2002) montre qu'au Wisconsin, pour tous les seuils qui ont été arasés, le coût total des réparations aurait été en moyenne 3 à 5 fois plus élevé que l'effacement. Les coûts et bénéfices de l'effacement sont souvent difficiles à chiffrer. Citons par exemple le déplacement du site de pompage de l'eau potable, l'aménagement du site, l'augmentation de l'activité pêche...

Cependant, en cas de réparation du seuil il faut compter que les frais engagés ne sont pas définitifs : entretien régulier de l'ouvrage, installation d'une passe à poissons, curage des sédiments... (Graber, 2002).

Provencher (2006) rappelle également que le prix des terrains en bordure de cours d'eau est lié à la qualité de l'eau et montre que l'effacement de seuils dans le Wisconsin ne déprécie pas le prix de l'immobilier, si ce n'est ponctuellement (2 ans). Les maisons sont même recherchées par les amateurs de pêche à la truite.

Exemple du bassin du Thouet

Sur la vallée du Thouet une série de 6 ouvrages a été identifiée après une analyse multicritère/multi-acteurs, comme particulièrement pénalisante sur le plan écologique. Chaque ouvrage relève de 1,2 m en moyenne la hauteur d'eau sur un tronçon impacté de 11,5 km.

L'évaluation de l'impact et de l'intérêt de ces seuils a permis de mettre en exergue les usages privatifs de ces biefs nécessitant un haut niveau d'eau (irrigation, exploitation des peupleraies, jardin, réserve incendie...). Une étude réalisée par un bureau d'étude a également montré que ce niveau haut confortait celui de la nappe d'accompagnement notamment pour la production d'eau potable de certaines communes.

La mobilisation de la presse locale par les propriétaires, riverains et pêcheurs révèle l'importance de ces usages, de la culture de l'eau « retenue » et de l'aspect paysager des plans d'eau (Barraud, 2009).

Etudes préalables à l'effacement d'un ouvrage :

L'utilisation de la photographie comme moyen de compréhension des représentations sociales des paysages est une manière intéressante d'aborder un projet d'effacement d'ouvrage. L'approche peut permettre d'estimer la qualité du paysage, mais également d'analyser la diversité de perceptions des paysages (fluviaux) afin de comprendre les décalages de perceptions entre les usagers, les habitants et les gestionnaires de l'environnement (Barraud, 2009). Barraud a utilisé cette méthode dans une étude sur le devenir des seuils en rivière et des paysages associés dans le Bassins de la Sèvre nantaise et du Thouet.

Une estimation de l'impact social en cas d'arasement de seuil est également réalisable par enquête, en chiffrant par exemple pour les modifications des habitudes récréatives, le déplacement accepté pour retrouver de telles activités.

Cet impact social peut être intégré dans l'étude coûts-bénéfices de l'effacement du seuil, prenant en compte tous les biens marchands (production d'électricité...) et non marchand (irrigation, réserve d'eau...).

Le marketing social peut être très efficace pour sensibiliser et promouvoir les changements. Cette méthode consiste à comprendre les barrières perçues face au changement désiré

(effacement du seuil) et ensuite à délivrer stratégiquement des programmes de sensibilisation conçus pour aborder ces inquiétudes et influencer les changements de mentalité (photomontages).

L'expérience des multiples seuils réparés ou effacés notamment dans le Wisconsin, montre que ces barrières comportementales sont dues au manque de compréhension vis-à-vis de la valeur d'une rivière en bonne santé, vis-à-vis des dommages créés par les seuils sur la rivière et la vie aquatique. Ces barrières sont également dues au manque d'information sur les coûts de réparation et d'effacement et au manque d'information sur l'évolution paysagère de la retenue (Johnson, 2002).

Lors du projet d'arasement du seuil de Rockdale dans Wisconsin, une enquête par mail a été réalisée afin de connaître l'opinion des gens sur la gestion du cours d'eau et de la retenue dans un but d'améliorer la qualité de l'eau. Sur 266 personnes interrogées, 1% seulement pense que le seuil contribue aux problèmes de qualité de l'eau, et personne ne pense que l'effacement améliorera la qualité de l'eau (Sarakinos, 2002).

Bibliographie

- (2002). Dam removal: Science and Decision Making. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, New York. 207 p.
- Barraud, R., Constantin, O., Charruau, G. and Charrier, A. (2009). Restauration écologique et paysagère des rivières à seuils : contexte social et culturel Retour d'expériences (bassins de la Sèvre nantaise et du Thouet, Ouest de la France). Ingénieries - E A T. (spécial Écologie de la restauration et ingénierie écologique. Enjeux, convergences, applications): 17-30.
- Graber, B. (2003). 4- Potential Economic Benefits of Small Dam Removal. Dam Removal Research, Status and Prospects. The Heinz Center's 165 p.
- Johnson, S.E., Graber B.E. (2002) Enlisting the Social Sciences in Decisions about Dam Removal. BioScience. 52(8): 731-738.
- Malavoi, J.R. (2003). Stratégie d'intervention de l'Agence de l'Eau sur les seuils en rivière. Document de travail, Agence de l'Eau Loire Bretagne, AREA, 125 p.
- Orr, C.H., Roth, B.M., Forshay, K.J., Gonzales, J.D., Papenfus, M.M. and Wassell, R.D.G. (2004). Examination of physical and regulatory variables leading to small dam removal in Wisconsin. Environmental Management. **33**(1): 99-109.
- Pohl, M.M. (2002). Bringing down our dams: Trends in American dam removal rationales. Journal of the American Water Resources Association. 38(6): 1511-1519.
- Pohl, M.M. (2003). 2- American Dam Removal Census: Available Data and Data Needs. Dam Removal Research, Status and Prospects. The Heinz Center's 165 p.

Provencher, B., Sarakinos, H. and Meyer, T. (2008). Does small dam removal affect local property values? an empirical analysis. *Contemporary Economic Policy*. **26**(2): 187-197.

Sarakinos, H. (2003). 3- Social Perspectives on Dam Removal. *Dam Removal Research, Status and Prospects*. The Heinz Center's 165 p.

Fiche n°9 : Réduction du volume de zones refuges pour les poissons en étiage sévère

Analyse bibliographique

Si cet argument est souvent invoqué par certains pêcheurs, la bibliographie sur ce sujet se pose rarement en ces termes. Les études recensées s'intéressent plutôt aux changements de communautés piscicole induits par la suppression du seuil (dans l'ancienne retenue et à l'aval), à la distribution des espèces lotiques avant et après effacement du seuil et à la dynamique de reconquête.

La disparition des espèces de plan d'eau (carpes, tanches) à affinité lénitique est prévisible en cas d'arasement de seuil.

Kanehl (1997) a montré un déclin de la carpe commune immédiatement après effacement du seuil au niveau de l'ancienne retenue. Cependant, la présence de carpe dans le tronçon restauré ne devient pas nulle. La biomasse reste faible mais au même niveau que dans un tronçon de référence (fig. 1).

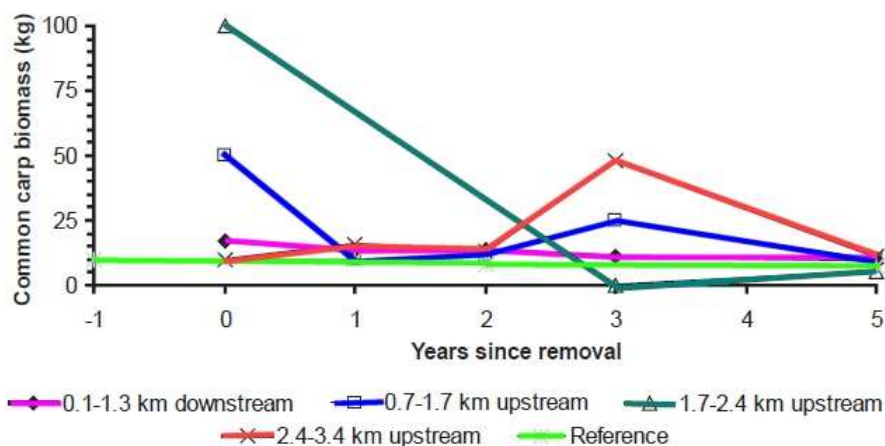


Figure 21 : Changement de la biomasse en carpe commune suite à l'effacement du seuil de Linen Mill sur la rivière Milwaukee (Kanehl et al., 1997).

L'étude de l'érosion régressive, après arasement d'un seuil a permis de montrer que ce phénomène permettait l'excavation d'anciennes mouilles présentes dans le remous solide et ainsi de créer de zones refuges.

Au niveau du débit d'étiage les seuils ne jouent aucun rôle sauf à favoriser l'évaporation. L'effacement de seuil pourra éventuellement se traduire par un renforcement du débit d'étiage (drainage de la nappe alluviale par le cours d'eau après la baisse de la ligne d'eau - Vernoux, 2009).

Préconisation d'études préalables à l'effacement d'un ouvrage

Voir fiche : **Qualité d'habitat et faune aquatique après arasement**, et **Risque d'érosion régressive**

Bibliographie

Kanehl, P.D., LYONS, J. (1997). Changes in the habitat and fish community of the Milwaukee river, Wisconsin, Following removal of the Woolen Mills Dam. North American Journal of Fisheries Management. 17:387-400.

Vernoux, J.F., Lions, J. and Seguin, J.J. (2009). Synthèse bibliographique sur les relations entre eau souterraine et eau de surface en lien avec la DCE. Rapport BRGM/RP-57044-FR, 153 p.

Fiche n°10 : Déformation géotechniques des bâtiments le long de l'ancienne retenue

Analyse bibliographique

Aucune donnée bibliographique sur ce sujet n'a été recensée au moment de la rédaction de cette fiche. Une étude bibliographique tournée vers des études de cas concrets (rapports de bureaux d'études) ou des cas de jurisprudence (rapports d'experts) pourrait être intéressante à réaliser.

Dans tous les cas, ce risque concerne les seuils accompagnés de bâtiments à proximité de la retenue : moulins, forges...

Ce risque de déformation est à mettre en relation avec deux paramètres : la présence d'argile dans le sous-sol, le type d'échange entre la nappe et la rivière.

Cependant, le matériau argileux n'est pas vraiment censé évoluer même en cas d'abaissement du niveau de la nappe. Il restera saturé par des phénomènes de succion. Les dommages apparaissent généralement dès la construction du bâtiment sur ces sols et sont liés à des fondations non adaptées au type de terrain (mauvaise prise en compte de la consolidation des matériaux argileux) ce qui est différent des problèmes que retrait/gonflement.

Le BRGM propose une carte d'aléa retrait-gonflement d'argiles sur toute la France, afin de tenter de diminuer à l'avenir le nombre de sinistres causés par ce phénomène de retrait-gonflement.

Préconisation d'études préalables à l'effacement d'un ouvrage

En cas de risque avéré : forte probabilité de présence d'argiles dans le sol et effet du seuil sur l'élévation du niveau de la nappe d'accompagnement, il faudra prévoir une étude géotechnique complémentaire.

Fiche n°11 : Qualité d'habitat et faune aquatique après arasement

Analyse bibliographique

Les principaux **risques liés à l'effacement** d'un ouvrage sont :

une mortalité potentielle à l'aval immédiat pour les macroinvertébrés et les poissons (altération des habitats, en particulier par colmatage, dégradation temporaire des paramètres de physico-chimie de l'eau hors toxiques, matières en suspension, oxygène dissous...) ; la vitesse de recolonisation dépend de l'état des autres cours d'eau du réseau hydrographique (recolonisation aérienne pour les insectes, aquatique pour les poissons), de la connectivité générale et de la durée d'évacuation du culot sédimentaire,

une extension de la répartition d'espèces présentes à l'aval,

la disparition des espèces de plan d'eau (carpes, tanches) à affinité lénitique.

Faune et habitat piscicole

Exemple du seuil du Moulin de Woolen sur la rivière Milwaukee, Wisconsin

L'effacement de ce seuil a donné lieu à des changements géomorphologiques rapides dans l'ancienne retenue : augmentation de la taille des sédiments, de la diversité des hauteurs d'eau, augmentation des caches à poissons... Ces changements se sont reflétés sur les indicateurs de qualité d'habitats qui se sont améliorés et de manière évidente, sur les assemblages piscicoles (Kanehl, 1997).

La carpe commune, espèce lénitophile, a décliné immédiatement après effacement du seuil au niveau de l'ancienne retenue au profit du black bass (*Smallmouth bass*) une espèce rhéophile (fig. 1). Cette espèce est apparue 3 ans après l'effacement, soit une saison après que le score de l'indice habitat se soit amélioré.

La biomasse totale dans la retenue a fortement diminué notamment à cause de la disparition des carpes, en revanche elle a augmenté à l'amont et à l'aval de la retenue, ce qui s'est avéré favorable à l'activité de pêche.

Remarque : A court terme et ponctuellement, le dépôt de sédiments fins à l'aval, couvrant le substrat grossier, affecte la qualité de l'habitat et modifie l'assemblage piscicole (chute de l'IBI deux ans après l'arasement).

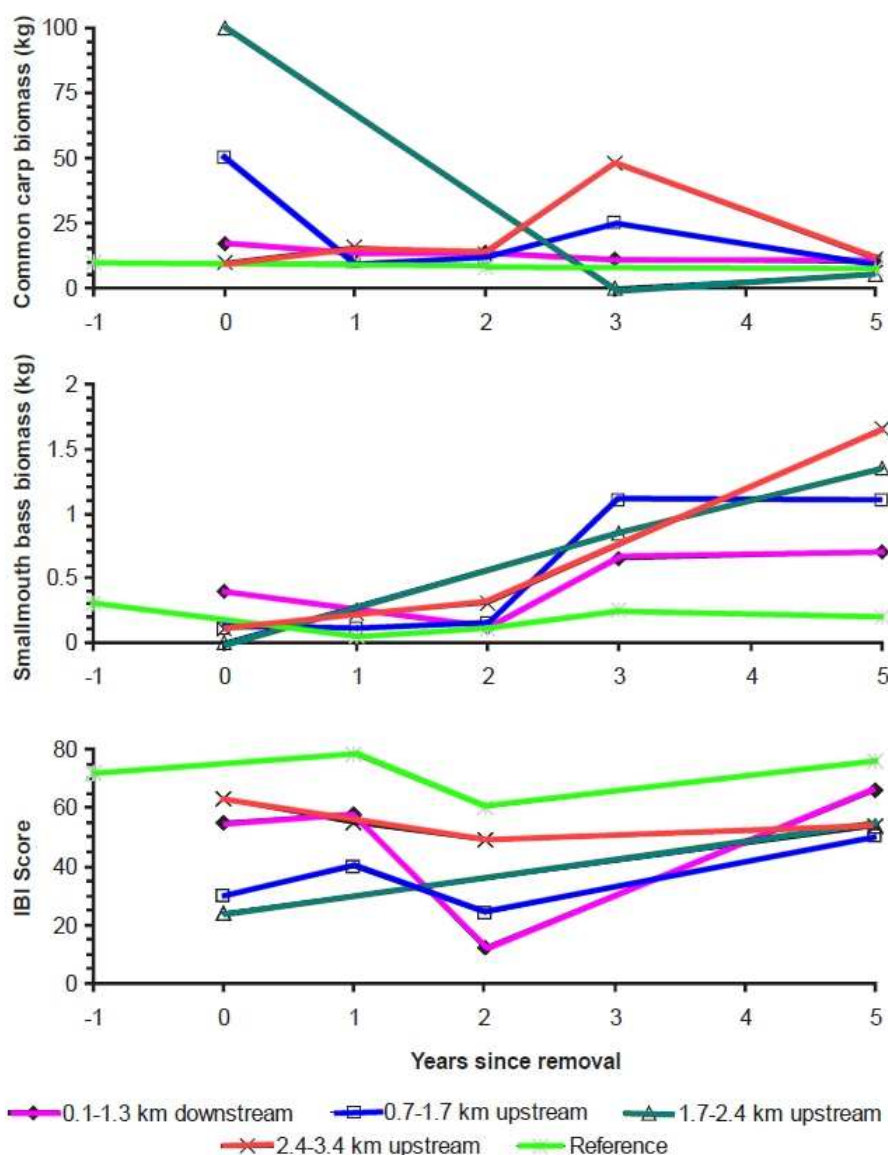


Figure 22 : Changement de qualité d'habitat et d'assemblage piscicole suite à un effacement du seuil de Linen Mill sur la rivière Milwaukee (Kanehl et al., 1997).

Finalement, les ajustements géomorphologiques contrôlent le rythme de la restauration piscicole et le retour d'espèces rhéophiles dans l'ancienne retenue (Doyle, 2005).

Il faut toutefois avoir conscience que pour les rivières qui cumulent les ouvrages en travers, l'effacement d'un seul seuil n'aura pas forcément d'effet significatif sur la restauration écologique à cause des effets cumulés des seuils amont et aval (Bednarek, 2001).

Exemple de la rivière Baraboo, Wisconsin

La restauration complète de la continuité sur la rivière Baraboo a nécessité l'effacement de 4 seuils compris entre 1,5 et 2,4 m de haut. Le début des opérations s'est fait en 1998 et s'est fini en 2001 par l'effacement du seuil le plus à l'aval.

Si les trois anciennes retenues aval ont vu leur indice d'intégrité biotique augmenter significativement (augmentation de la richesse spécifique et du pourcentage d'espèces exigeantes), cette augmentation ne s'est faite qu'après arasement du seuil le plus à l'aval, suggérant le blocage des poissons d'une population source vers les tronçons amont (fig. 2). Au niveau du premier seuil le nombre d'espèces est passé en 18 mois de 11 à 24.

Cependant, la restauration du seuil le plus à l'amont, situé sur un tronçon à faible pente, moins dynamique, où la mobilisation de sédiments fins a été très faible n'a pas eu le même effet sur le compartiment piscicole (Catalano, 2007).

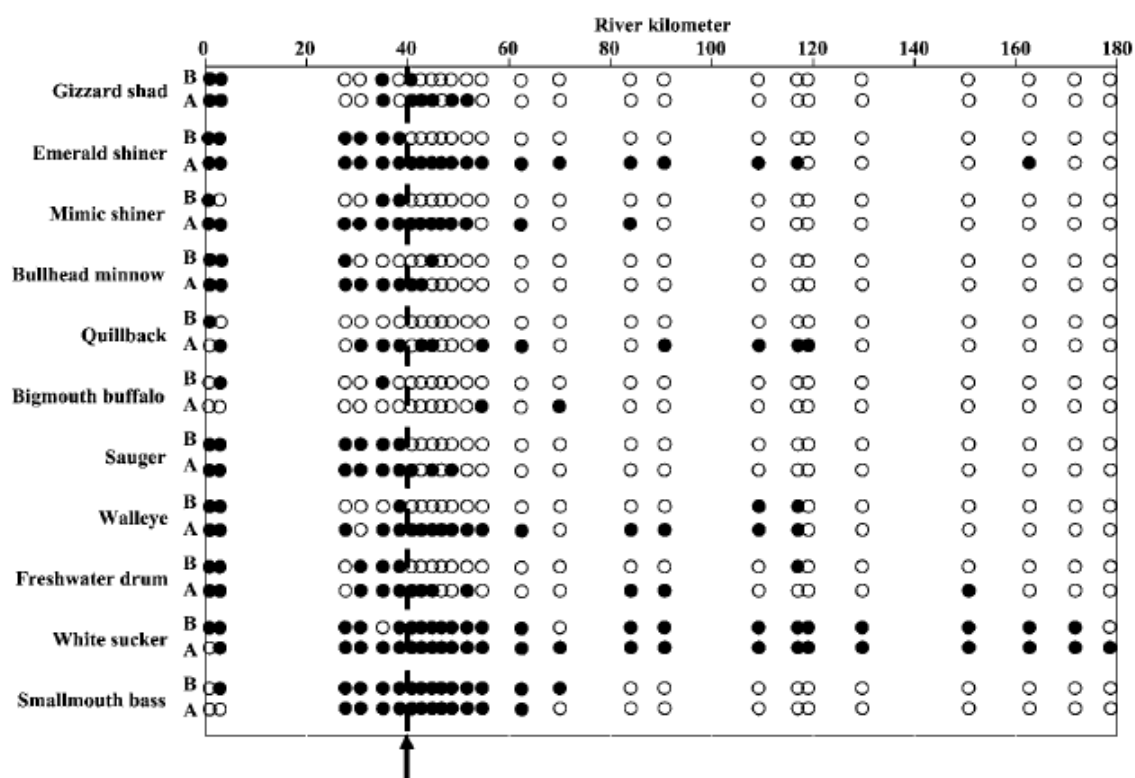


Figure 23 : Distribution sur l'ensemble du bassin de la rivière Baraboo des poissons d'été (les cercles noirs montrent la présence de l'espèce) : B) avant l'effacement du seuil le plus à l'aval (marqué par une flèche) et A) après effacement (Catalano, 2007).

Remarque : L'étude de l'érosion régressive, après arasement d'un seuil a permis de montrer que ce phénomène permettait l'excavation d'anciennes mouilles présentes dans le remous solide et ainsi de créer de zones refuges.

Macroinvertébrés

Thomson (2005) rappelle que le dépôt de sédiments fins a généralement un impact négatif sur les communautés benthiques et que la libération de sédiments depuis un réservoir peut causer une réduction prononcée de la densité et de la diversité benthiques.

Après effacement d'un seuil, des changements significatifs d'assemblage sont observés dans la retenue. Il est généralement constaté une chute du nombre de taxons, mais la plupart du temps elle est suivie d'une récupération rapide.

Exemple du seuil de South Batavia sur la riviÈre Fox

Suite à une brèche dans un seuil (1,7 m) situé sur un cours d'eau déjà important (module 62 m³/s), Maloney (2008) constate qu'après deux saisons l'assemblage de macroinvertébrés est proche de celui d'une zone d'écoulement libre, alors que l'année suivant l'ouverture du seuil la composition était encore celle d'une retenue (fig. 3).

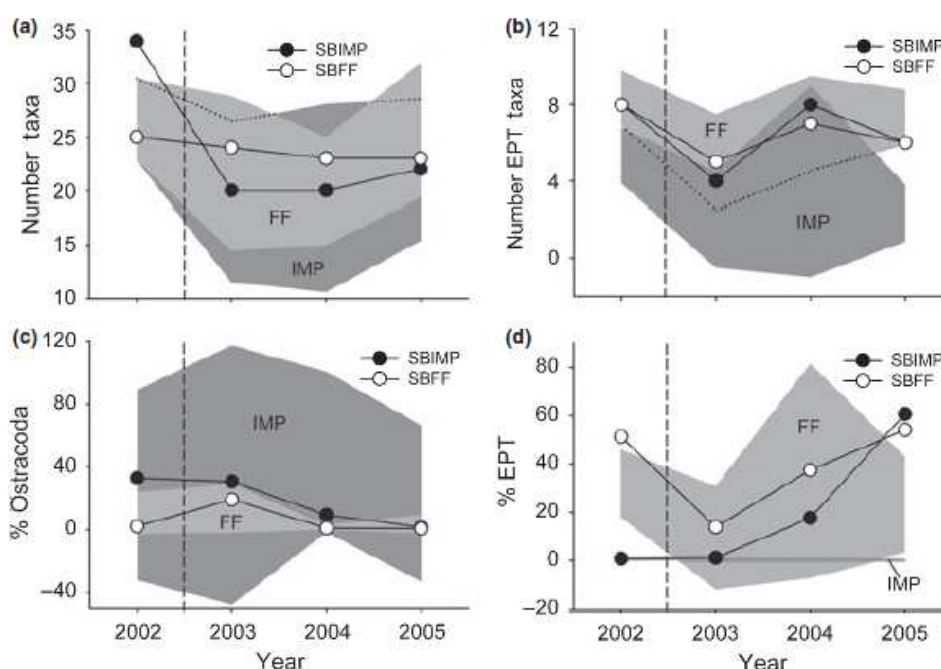


Figure 24 : Métriques macroinvertébrés par année sur le site d'écoulement libre (très à l'aval) de South Batavia (SBFF) et dans la retenue (SBIMP). En gris clair apparaît l'intervalle de confiance (95%) de trois sites à écoulement libre et en gris foncé de trois retenues. La ligne en pointillé date l'ouverture du seuil (Maloney, 2008).

Le pourcentage d'EPT (éphéméroptères, plécoptères et trichoptères) dans l'assemblage de macroinvertébrés, qui était inférieur à 2 % avant l'ouverture du seuil, est devenu dominant (>60 %) après 2 ans. Cette métrique rend mieux compte de l'évolution de l'assemblage que le nombre de taxons.

Maloney (2008) constate également une nette augmentation de filtreurs dans la retenue probablement à cause de l'augmentation de la taille des sédiments qui favorise la fixation de ce groupe trophique.

Les mêmes résultats sont observés par Stanley (2002) sur un système plus petit (seuil 1,5 m, module 10,3 m³/s) : chute immédiate du nombre de taxons dans la retenue, augmentation du nombre d'EPT dès 1 an après l'effacement.

A l'aval, une diminution de la densité et de la diversité de macroinvertébrés est d'abord observée après arasement. En quelques mois, en fonction des conditions hydrologiques la densité initiale est retrouvée. En revanche, la diversité est un peu plus longue à se restaurer.

Exemple de Boulder Creek

Suite à l'effacement d'un seuil (2,5 m) sur un cours d'eau de rang 2 dans le Wisconsin, Orr (2008) a montré une chute d'environ 1/3 de la densité de macroinvertébrés en aval. L'assemblage qui était composé majoritairement de diptères (36 %) et de trichoptères (18 %), a vu ces deux groupes décliner d'environ 60 % (fig. 4). Les éphéméroptères ont vu aussi leur population décliner de 90 %. Cependant la récupération a été rapide, particulièrement pour les diptères (quelques mois). Pour les trichoptères, notamment le genre *Brachycentrus*, qui vit sur les blocs, la récupération n'est pas encore apparue, probablement à cause de l'abrasion des sédiments grossiers par les fines (Orr, 2008).

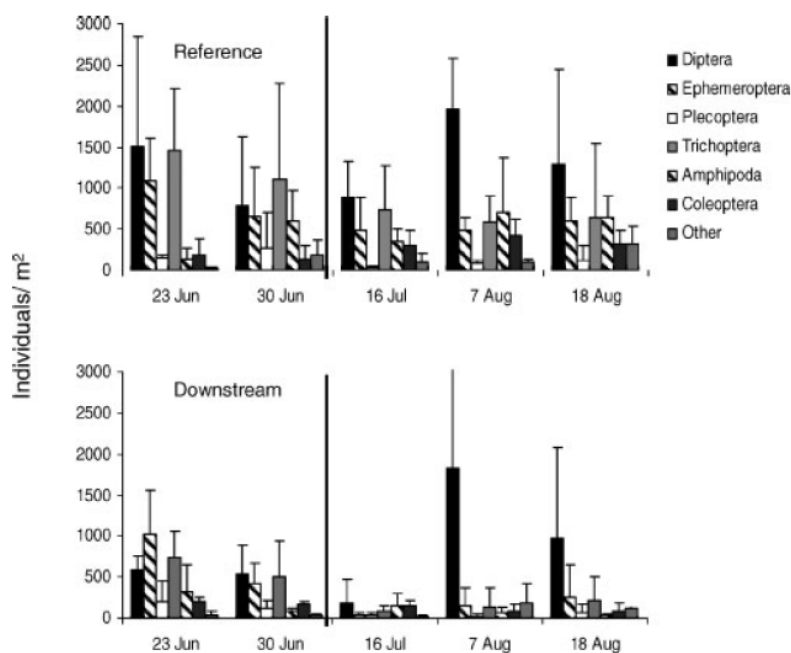


Figure 25 : Densité moyenne des principaux groupes de macroinvertébrés pendant l'été 2003 sur un tronçon de référence et un tronçon aval. La ligne verticale indique la date d'effacement du seuil (Orr, 2008).

D'autres auteurs ont également montré une chute initiale de la densité à l'aval de près de 60 % (Thomson, 2005) suivie d'une récupération rapide, accompagnée de changements trophiques (Pollard, 2004).

Finalement, beaucoup de macroinvertébrés benthiques, espèces à cycle court dont les adultes aériens ont une faculté de recolonisation rapide, réagissent rapidement aux changements induits par la restauration.

Cependant, les impacts de l'effacement d'un seuil comblé de sédiments fins et non consolidés ne sont pas à négliger ; tout dépendra de la dynamique hydrologique post arasement.

Tableau 3 : Exemples d'effets de effacements de seuils sur les macroinvertébrés (Orr, 2008 ; Maloney, 2008 ; Stanley, 2002 ; Pollard, 2004).

Nom	Hauteur seuil (m)	Débit cours d'eau (m ³ /s)	Occupation du sol	Type de sédiments	Effet du dérasement sur les macroinvertébrés
Boulder Creek	2,5	0,7	forêt	sable, galets et blocs	Chute de 30% de la densité à l'aval Chute des populations de Trichoptères (84%), Ephéméroptères (91%) et de Diptères (65%) (légère diminution également sur site de référence, entre 15 et 35%) Récupération rapide (1 an) notamment des populations de Diptères
Turtle Creek	4	3,6	agriculture	galets et limons dans retenue	Un an après dérasement : Densité aval supérieure à avant effacement Diminution de la richesse spécifique Avant effacement 90% de prédateurs à l'aval, après 60% de collecteurs et 25% de filtreurs
Manatawny creek	2	3,7	forêt - agriculture	sable et graviers	Chute de 60% de la densité après effacement complet à l'aval Pas d'effet observé sur la richesse spécifique
Fox river	1,7	62	agriculture - urbanisation	sable, graviers et galets	Chute du nombre de taxons dans la retenue Récupération après 2 ans

Autres

Les algues

Pour ce qui concerne **les algues**, on constate un modèle de réponse similaire à celui des macroinvertébrés, c'est-à-dire une diminution immédiate de la biomasse après un arasement, à l'aval du seuil et également une perte de richesse spécifique chez les diatomées (Thomson, 2005).

Ce phénomène est attribué à l'apport de sédiments dû à l'ajustement du lit en amont de l'ancien ouvrage (érosion régressive et latérale). Orr (2008) imaginait pourtant un scénario opposé dans lequel la libération de sédiments riches en nutriments serait suivie d'une augmentation de biomasse.

Les mollusques

L'arasement de seuil pourrait être un bon outil pour restaurer les communautés de **moules d'eau douce**, qui sont dépendantes de la distribution de certains poissons qu'elles parasitent et utilisent pour coloniser les cours d'eau. Cependant, les moules, au cycle de croissance lent, au comportement totalement sédentaire et peu tolérantes vis-à-vis des sédiments fins, affichent parfois après l'effacement d'un ouvrage, un fort taux de mortalité (modification de l'habitat dans l'ancienne retenue et dépôt de sédiments à l'aval (Sethi, 2004).

Les espèces invasives

L'effet de l'arasement des seuils sur la colonisation de l'amont par des espèces piscicoles invasives est régulièrement considéré comme un risque. Il n'est cependant pas clairement établi dans la littérature.

Stanley (2007) a montré que l'arasement d'un seuil dans le Wisconsin, ne s'est pas fait au détriment d'une espèce de truite autochtone présente à l'amont et menacée par une espèce invasive présente à l'aval. Au contraire, l'arasement du seuil a libéré des zones favorables aux juvéniles de l'espèce native qui étaient beaucoup plus nombreux l'année suivant l'arasement et qui ont renforcé la population autochtone.

Vitesse de récupération

Le rythme de récupération de l'écosystème après un effacement d'ouvrage est difficile à prédire du fait du grand nombre de facteurs de régulation et de leurs effets sur l'ensemble des composants de l'écosystème. Cependant, le contexte spatio-temporel à l'échelle du bassin versant est une bonne clef pour comprendre l'effet d'un arasement.

Dès lors que des « poches » populationnelles subsistent dans le bassin versant et que les communications sont rétablies, les ajustements géomorphologiques impulsés par le régime hydrologique contrôleront le rythme et l'amplitude de la restauration écologique.

La réponse géomorphologique suite à l'arasement d'un seuil est commandée par la quantité et les caractéristiques des sédiments stockés dans la retenue et par la capacité du système fluvial à s'ajuster par érosion régressive du remous solide (Doyle, 2005 ; Fig. 5). Doyle (2005) affirme que la majorité des modifications géomorphologiques apparaissent entre la première et la cinquième année.

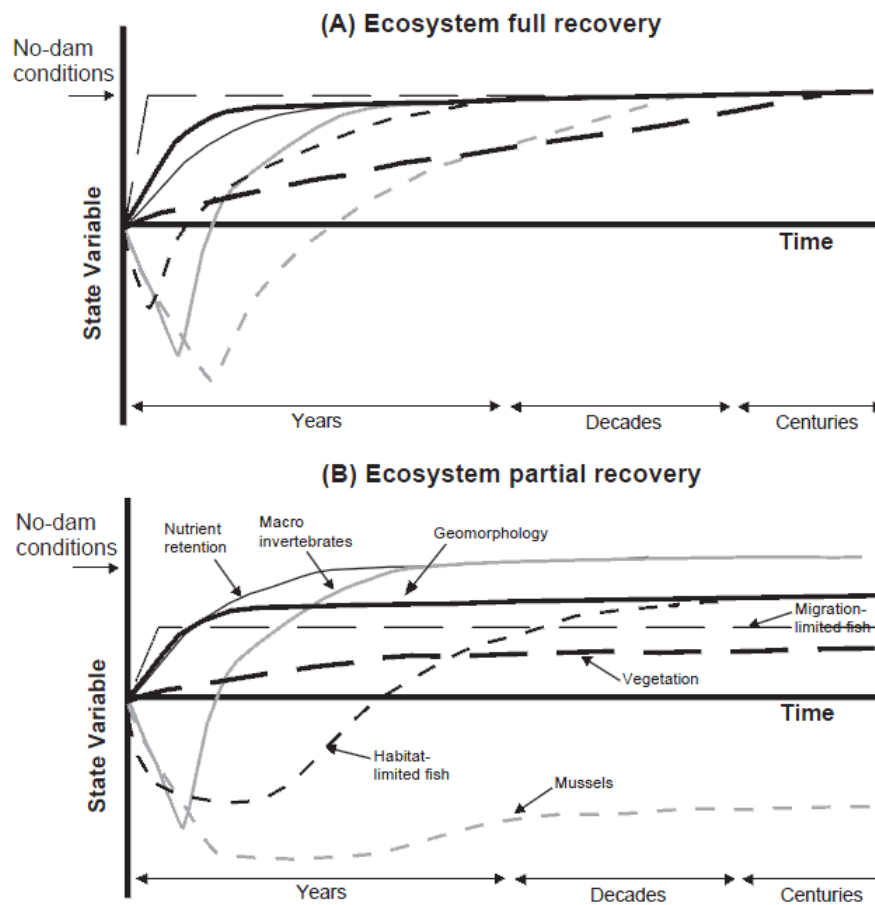


Figure 26 : Modèle conceptuel de restauration de l'écosystème suite à un effacement de seuil. Une restauration complète de l'écosystème suppose que tous les compartiments retournent aux conditions antérieures au seuil mais à un rythme variable. Une restauration partielle suppose que certains compartiments retrouvent leur intégrité mais d'autres plus vulnérables ne se restaurent que partiellement (Doyle, 2005).

Préconisation d'études préalables à l'effacement d'un ouvrage

- ▶ Faire un état des lieux des populations sur l'ensemble du cours d'eau et de ses affluents ainsi que des espèces invasives
- ▶ Étudier les pressions anthropiques à l'échelle du bassin versant
- ▶ Étudier la nature du sédiment, les volumes stockés et en fonction du régime hydrologique, élaborer des scénarios simples de temps d'évacuation du culot sédimentaire post arasement
- ▶ Prévoir des travaux connexes pour améliorer les paysages et les habitats

Bibliographie

- (2002). Dam removal: Science and Decision Making. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, New York. 207 p.
- Bednarek, A.T. (2001). Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*. 27(6): 803-814.
- Catalano, M.J., Bozek, M.A. and Pellett, T.D. (2007). Effects of dam removal on fish assemblage structure and spatial distributions in the Baraboo River, Wisconsin. *North American Journal of Fisheries Management*. 27(2): 519-530.
- Doyle, M.W., Stanley, E.H., Orr, C.H., Selle, A.R., Sethi, S.A. and Harbor, J.M. (2005). Stream ecosystem response to small dam removal: Lessons from the Heartland. *Geomorphology*. 71(1-2): 227.
- Hart, D.D., Johnson, T.E., Bushaw-Newton, K.L., Horwitz, R.J., Bednarek, A.T., Charles, D.F., Kreeger, D.A. and Velinsky, D.J. (2002). Dam removal: Challenges and opportunities for ecological research and river restoration. *Bioscience*. 52(8): 669-681.
- Kanehl, P.D., LYONS, J. (1997). Changes in the habitat and fish community of the Milwaukee river, Wisconsin, Following removal of the Woolen Mills Dam. *North American Journal of Fisheries Management*. 17:387-400.
- Lessard, J.L. and Hayes, D.B. (2003). Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Research and Applications*. 19(7): 721-732.
- Maloney, K.O., Dodd, H.R., Butler, S.E. and Wahl, D.H. (2008). Changes in macroinvertebrate and fish assemblages in a medium-sized river following a breach of a low-head dam. *Freshwater Biology*. 53(5): 1055-1068.
- Orr, C.H., Kroiss, S.J., Rogers, K.L. and Stanley, E.H. (2008). Downstream benthic responses to small dam removal in a coldwater stream. *River Research and Applications*. 24(6): 804-822.
- Pollard, A.I. and Reed, T. (2004). Benthic invertebrate assemblage change following dam removal in a Wisconsin stream. *Hydrobiologia*. 513: 51-58.
- Principe, R.E. (2010). Ecological effects of small dams on benthic macroinvertebrate communities of mountain streams (Cordoba, Argentina). *Annales de Limnologie*. 46(2): 77-91.

- Sethi, S.A., Selle, A.R., Doyle, M.W., Stanley, E.H. and Kitchel, H.E. (2004). Response of unionid mussels to dam removal in Koshkonong Creek, Wisconsin (USA). *Hydrobiologia*. 525(1-3): 157-165.
- Stanley, E.H. and Doyle, M.W. (2003). Trading off: the ecological effects of dam removal. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **1**(1): 15-22.
- Stanley, E.H., Luebke, M.A., Doyle, M.W. and Marshall, D.W. (2002). Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal. *Journal of the North American Benthological Society*. 21 (1): 172-187.
- Thomson, J.R., Hart, D.D., Charles, D.F., Nightengale, T.L. and Winter, D.M. (2005). Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *Journal of the North American Benthological Society*. 24(1): 192-207.

Fiche n°12 Modification des processus physico-chimiques

Analyse bibliographique

Un point critique de l'effacement d'un barrage est la libération, dans des concentrations importantes, de polluants et de nutriments adsorbés sur les particules fines de sédiments. En effet, une retenue, puits de nutriments et de polluants quand le barrage était en place, devient souvent une source de ces mêmes composés quand le barrage est dérasé. Le retour complet aux conditions naturelles étant un paramètre incertain (Graf, 2002).

Les Nutriments

La rétention de nutriments, après effacement d'un ouvrage est en relation avec les changements morphologiques du lit (Stanley, 2002) :

- ▶ au dessus du front d'érosion régressive, dans l'ancienne retenue, les conditions seront favorables au stockage de l'azote et du phosphore : augmentation du ratio largeur/profondeur (donc de la proportion d'eau en contact avec les sédiments) et faible vitesse.
- ▶ au niveau du front d'érosion, l'augmentation de la pente et de la vitesse d'écoulement, l'incision du lit... empêchent les processus de stockage du flux entrant et favorisent l'exportation de sédiments fins, et des nutriments retenus avec eux.

Après la suppression d'un seuil, le secteur de l'ancienne retenue est généralement exportateur de nutriments (Ahearn, 2005).

Par la suite, la balance entre l'exportation et la rétention de nutriments dépendra de l'évolution morphologique du lit : le développement de mouilles dans l'ancienne retenue favorisera la rétention de nutriments et à l'inverse l'érosion des berges favorisera l'exportation (Stanley, 2002).

Exemple du seuil Camanche, Murphy Creek, Californie

Ahearn et al. (2005) s'intéressent à la dynamique des sédiments ainsi qu'aux caractéristiques qui leur confèrent la capacité de libérer ou retenir les nutriments lors d'un effacement de seuil (3m), sur la rivière Murphy.

L'année suivant l'arasement (effectué en août 2003), il est observé une forte augmentation du transport sédimentaire et de l'exportation de nutriments. Cependant, le suivi du site de référence, un autre seuil situé à l'amont de la rivière, permet de montrer que cette augmentation n'est pas entièrement due à l'arasement : de fortes précipitations et de forts débits ont eu lieu sur le site - phénomènes qui n'avaient pas été observés les deux années

suivies avant l'arasement. L'exportation de matières en suspension est significative à l'aval du tronçon restauré pendant les forts débits.

La concentration en phosphore après arasement est fréquemment plus faible à l'aval de la retenue qu'à l'amont pendant les faibles débits. Cependant, sur l'année, l'exportation de phosphate est positive (58kg) et due aux épisodes de fortes pluies.

En revanche, l'exportation de nitrate est plus importante à l'aval du seuil arasé quelque soit le débit (75kg/an exporté avant arasement, contre 690kg après arasement).

Dans un contexte de sédiments riches en matière organique, la partie de l'ancienne retenue où il y a une forte épaisseur de sédiments bien drainés, avec un fort taux d'humidité, correspond à une zone de libération de l'azote (1100µg/L de NH₄⁺ et 700µg/L de NO₃⁻). La production d'ammonium par les bactéries ammonifiantes (réaction aux conditions peu exigeantes), permet ensuite la nitrification (production de NO₃⁻ en milieu aérobie) (fig. 1).

Dans la partie la plus à l'aval de l'ancienne retenue, où les sédiments sont saturés en eau, l'ammonification peut avoir lieu mais la production de nitrate qui nécessite des conditions aérobies restera faible.

Cependant, l'étude a montré que la libération d'azote est fortement dépendante de la saison, au printemps quand la consommation biotique est au maximum la libération d'azote inorganique dans le lit est négligeable. A l'inverse, à partir de l'automne quand les sols sont lessivés il y a une libération significative d'azote inorganique. Les concentrations en azote en automne 2003 et un an après laissent penser que la libération d'azote va affecter pendant de nombreuses années le tronçon aval.

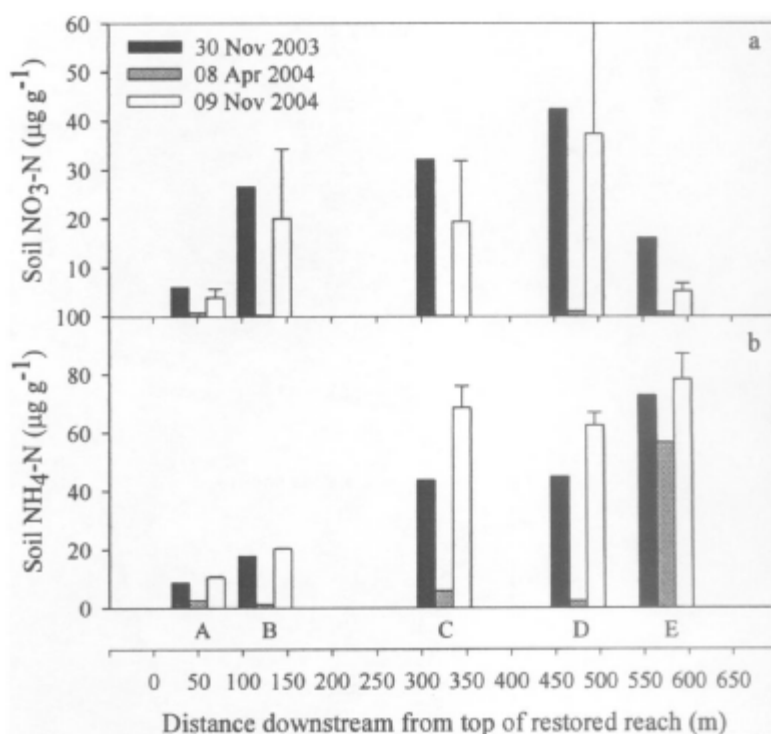


Figure 1. Quantité moyenne d'azote sous forme de nitrate et d'ammonium extractible du sol en automne 2003, printemps 2004 et automne 2004 (le site E correspond à l'amont immédiat de l'ancien seuil) (Ahearn, 2005).

Les micropolluants et les Éléments traces toxiques

Dans une étude sur l'effacement du seuil de Manatawny Creek, Ashley (2005) note que pour tous les prélèvements de sédiments réalisés en différents points de la retenue et à l'aval, les concentrations des polluants (HAP, PCB, métaux lourds sauf le plomb...) sont corrélées entre elles et avec les teneurs en carbone organique. Bien que la source de chaque contaminant soit différente sur le bassin versant, la distribution et le stockage dans la retenue se fait de la même façon et correspond aux sites de dépôt de matière organique.

La prise en compte de la qualité des sédiments est importante pour l'évaluation du coût de l'opération (gestion des sédiments) ainsi que pour la réussite d'un projet d'effacement (voir § 2. Préconisation d'études préalables)

La Température

Pour les seuils qui fonctionnent généralement en surverse, le temps de résidence de l'eau est faible, on constate une légère augmentation de la température de l'eau à l'aval (eau de surface plus chaude). Cependant l'eau conserve un régime de variation journalière, et saisonnière avec un certain déphasage (Bednarek, 2001).

Les rivières concernées par ces changements de température sont souvent favorables aux espèces allogènes ou introduites. De plus, le cumul d'ouvrages amplifie le phénomène.

Exemple du seuil de Good Hope Mill, Conodoguinet Creek, Pennsylvanie

Chaplin (2003) a suivi l'évolution de plusieurs paramètres notamment la température de l'eau à l'amont et dans la retenue du seuil de Good Hope Mill (hauteur 2m) sur la rivière Conodoguinet, en Pennsylvanie.

Le suivi des températures laisse penser que la retenue jouait un rôle de déphasage des températures (fig. 2). Quelques heures après l'arasement les températures dans l'ancienne retenue convergent vers celle enregistrées à l'amont. Le suivi de l'oxygène dissous et du pH montre la même évolution, avec un déphasage qui dure plus longtemps après l'effacement (jusqu'à une semaine).

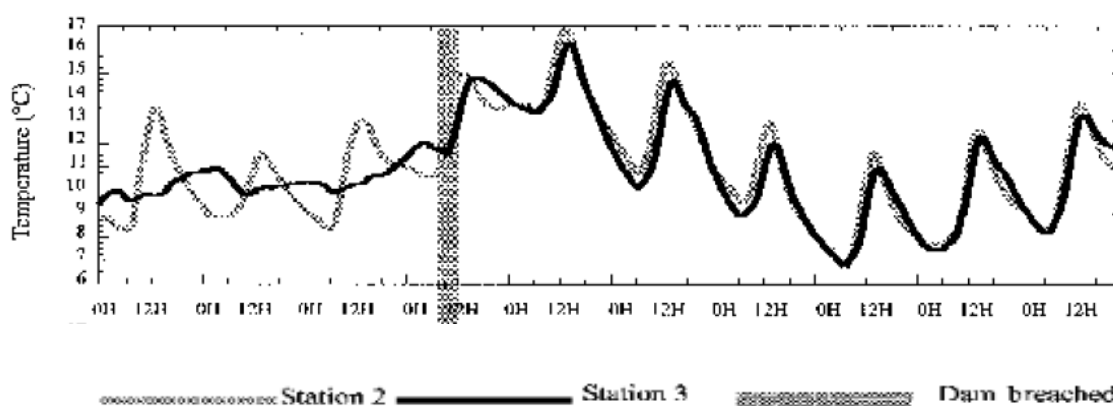


Figure 2. Mesure en continue de la température sur un site de référence à l'amont du seuil (station 2) et dans la retenue (station 3) (Chaplin, 2003).

Beaucoup d'auteurs affirment que l'effacement d'un ouvrage permettra de retrouver des conditions de température identiques à l'avant ouvrage, mais ceci n'est pas forcément immédiat (Bednarek, 2001).

Lors de son étude sur le seuil de la rivière Manatawny, en Pennsylvanie, Velinsky (2006) s'est intéressé à la température de l'eau sur le site de référence (très à l'amont) et à l'aval du seuil. De mai à juillet, la température moyenne journalière de l'eau avant arasement était de 20,1°C à l'amont et de 20,7°C à l'aval (température moyenne de l'air : 19,7°C). Après arasement, durant la même période la température moyenne journalière de l'eau était de 20,4°C à l'amont et de 21,1°C à l'aval (température moyenne de l'air : 20,2°C).

La température de l'eau à l'aval est toujours plus importante que la température amont, avant comme après l'effacement de l'ouvrage. Cette augmentation est probablement due à l'augmentation de l'insolation causée par une diminution de la couverture au niveau de la retenue. L'effet de l'effacement de l'ouvrage (augmentation de température à l'aval plus importante qu'avec la retenue) n'est pas vraiment expliqué, probablement la diminution de profondeur dans l'ancienne retenue. Velinsky précise que cet effet ne devrait pas persister au-delà du temps d'ajustement du lit d'équilibre (incision du lit, développement de la

ripisylve).

Études préalables à l'effacement d'un ouvrage

Avant tout projet d'effacement de seuil au minimum trois points doivent être étudiés pour analyser le risque vis-à-vis des sédiments pollués (Ashley, 2005) :

- ▶ l'usage historique et actuel du bassin versant et de la retenue – ce qui permettra de voir s'il existe un risque que des polluants chimiques soient stockés dans le système (surfaces imperméabilisées, sources ponctuelles de pollution, vidange et curage...),
- ▶ la comparaison des concentrations en polluants présents dans la retenue avec celles du tronçon amont et aval,
- ▶ la réalisation d'un inventaire précis des sédiments fins présents dans la retenue qui seront libérés au moment de l'effacement - une étude de la sédimentation dans la retenue en fonction des débits, une étude bathymétrique, granulométrique ainsi que sur la nature chimique des sédiments permettra de déterminer la capacité de sorption des sédiments vis-à-vis des polluants et le rythme de stockage de ces polluants.

La prise en compte de ces trois points permettra une bonne gestion des sédiments (enlèvement mécanique, stabilisation ou érosion) notamment par rapport aux infrastructures aval (site de pompage, pisciculture...).

Element	Unpolluted (ppm)	Moderately Polluted (ppm)	Heavily Polluted (ppm)
Mercury	<1	Not defined	>1
Lead	<90	90–200	>200
Zinc	<90	90–200	>200
Iron	<17,000	17,000–25,000	>25,000
Chromium	<25	25–75	>75
Copper	<25	25–50	>50
Arsenic	<3	38	>8
Cadmium	Not defined	Not defined	>6
Nickel	<20	20–50	>50
Manganese	<300	300–500	>500
Barium	<20	20–60	>60

Source: Adapted from Baudo et al. (1990) based on research by Gambrell et al. (1983).
^a This classification has not been adopted in formal policy, but is supported by scientific investigations focused on biotoxicity of the metals.

Figure 2. Proposition de seuils de pollution pour les sédiments (Graf, 2002).

En ce qui concerne les nutriments, après effacement, la production dépendra de la quantité de sédiments exportés. Une étude du transport de solide du cours d'eau suite à un effacement d'ouvrage (calcul de la contrainte de cisaillement) en fonction des débits est envisageable : voir la fiche « Risque d'érosion régressive ».

Pour les températures, un suivi de l'effet du seuil est à prévoir, en lien avec la qualité du compartiment biologique et la mise en évidence des échanges nappe-rivière.

Bibliographie

- (2002). Dam removal: Science and Decision Making. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, New York. 207 p.
- Ashley, J.T.F., Bushaw-Newton, K., Wilhelm, M., Boettner, A., Drames, G. and Velinsky, D.J. (2006). The effects of small dam removal on the distribution of sedimentary contaminants. *Environmental Monitoring and Assessment*. **114**(1-3): 287-312.
- Bartholow, J.M., Campbell, S.G. and Flug, M. (2004). Predicting the thermal effects of dam removal on the Klamath river. *Environmental Management*. **34**(6): 856-874.
- Bednarek, A.T. (2001). Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*. **27**(6): 803-814.
- Bosch, N.S., Johengen, T.H., Allan, J.D. and Kling, G.W. (2009). Nutrient fluxes across reaches and impoundments in two southeastern Michigan watersheds. *Lake and Reservoir Management*. **25**(4): 389-400.
- Bushaw-Newton, K.L., Hart, D.D., Pizzuto, J.E., Thomson, J.R., Egan, J., Ashley, J.T., Johnson, T.E., Horwitz, R.J., Keeley, M., Lawrence, J., Charles, D., Gatenby, C., Kreeger, D.A., Nightengale, T., Thomas, R.L. and Velinsky, D.J. (2002). An integrative approach towards understanding ecological responses to dam removal: The Manatawny Creek Study. *Journal of the American Water Resources Association*. **38**(6): 1581-1599.
- Chaplin, J. (2003). 8-Framework for Monitoring and Preliminary Results after Removal of Good Hope Mill Dam. *Dam Removal Research, Status and Prospects. The Heinz Center's*: 119-133.
- Hart, D.D., Johnson, T.E., Bushaw-Newton, K.L., Horwitz, R.J. and Pizzuto, J.E. (2003). 5-Ecological Effects of Dam Removal an integrative case study and risk assessment framework for prediction. *Dam Removal Research, Status and Prospects. The Heinz Center's*: 67-80.
- Mantel, S.K., Hughes, D.A. and Muller, N.W.J. (2010). Ecological impacts of small dams on South African rivers Part 1: Drivers of change - water quantity and quality. *Water Sa*. **36**(3): 351-360.
- Randle, T.J. (2003). 6-Dam Removal and Sediment Management, *Dam Removal Research, Status and Prospects. The Heinz Center's*: 81-104.
- Stanley, E.H. and Doyle, M.W. (2002). A geomorphic perspective on nutrient retention following dam removal. *Bioscience*. **52**(8): 693-701.
- Velinsky, D.J., Bushaw-Newton, K.L., Kreeger, D.A. and Johnson, T.E. (2006). Effects of small dam removal on stream chemistry in southeastern Pennsylvania. *Journal of the North American Benthological Society*. **25**(3): 569-582.



Partenariat 2010
Restauration des milieux aquatiques – Action 24
Ingénierie de la restauration physique des
habitats



Onema
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Cemagref
Parc de Tourvoie
BP 44,
92163 Antony cedex
01 40 96 61 21
www.cemagref.fr