La continuité sédimentaire passe-t-elle par l'arasement systématique des seuils ? Une analyse critique.

La politique d'abaissement ou d'arasement des seuils pose une vaste série de questions, tant écologiques que sociales. Nous aborderons ici le seul point de vue de la continuité sédimentaire sous les angles suivants : 1) le dispositif réglementaire et technique mis en place ; 2) les principes généraux sur l'hydromorphologie et les sédiments ; 3) Les objectifs de la construction des seuils en rivière ; 4) une approche critique et constructive.

1. Le dispositif réglementaire et technique mis en place depuis la DCE 2000 : la systématisation était-elle nécessaire ?

1.1. La DCE a placé au premier plan la qualité des eaux, pas la continuité

Le texte principal de la DCE ne prévoit pas d'effacer les seuils et les barrages mais il insiste sur la recommandation première qui est d'atteindre le bon état chimique et écologique des masses d'eau à l'horizon 2015 (avec des dates butoirs prorogeable). Selon la DCE les premières obligations des Etats-membres concernent la mesure des paramètres biologiques et physico-chimiques sur chaque masse d'eau superficielle pour atteindre le bon état. La loi n° 2004-338 du 21 avril 2004 portant transposition de la directive en droit français n'avait pas spécifiquement imposé l'obligation de modifier les ouvrages hydrauliques.

La continuité, qui n'apparaît pas dans le texte principal de la DCE, n'est que l'un des 18 facteurs de qualité. C'est l'annexe V de la Directive Cadre Européenne de 2000 qui précise le contenu de la politique de continuité écologique, en particulier quant au transport sédimentaire et la liberté de déplacement des poissons migrateurs ? C'est donc un élément qui n'était pas prioritaire dans l'annexe de la directive.

1.2. Les objectifs très ambitieux de la LEMA

La LEMA (Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques) a fixé des objectifs très ambitieux pour la France, peut-être trop ambitieux.

La répartition des masses d'eau avait été conçue par la DCE en deux catégories, les masses d'eau peu modifiées, susceptibles d'atteindre le « bon état en 15 ans » (le « bon état » est le niveau requis), et les masses d'eau fortement modifiées (par des aménagements lourds notamment), pour lesquelles un délai supplémentaire était négociable. La France a adopté la politique ambitieuse de placer environ 90% des masses d'eau dans la catégorie des masses d'eau peu modifiées. Or en peu d'années est apparue la quasi impossibilité de réussir le pari de porter la qualité des eaux au niveau requis et donc de réussir ; l'administration a–t'elle espéré y arriver aussi et surtout par la voie de la restauration physique, voie incluant la spectaculaire suppression des obstacles transversaux que sont les seuils, notamment les seuils de moulins ?

Mais la restauration physique était-elle nécessaire ? Le *Guide technique d'évaluation de l'état des eaux de surface continentales* produit par les administrations européennes précise les conditions d'attribution du bon état écologique.

- Si pour une masse d'eau, les valeurs des éléments de qualité biologique et les conditions physico-chimiques correspondent au très bon état, et si les conditions hydromorphologiques ne correspondent pas au « très bon état » mais seulement au bon état, la masse d'eau doit être classée dans la catégorie du « bon état »

- Si la qualité physico-chimique diffère légèrement des conditions de référence, si elle assure le bon fonctionnement de l'hydrosystème et enfin si elle respecte les normes de qualité environnementale pour des polluants spécifiques, alors la masse d'eau peut aussi être classée dans le bon état. La question est donc en principe l'atteinte du bon état physico-chimique sans qu'il y ait nécessité de détruire des seuils.

La position officielle a été renforcée par la Loi Grenelle I du 3 août 2009. La trame bleue est mise en place pour « préserver et de remettre en bon état les continuités écologiques des milieux nécessaires à la réalisation de l'objectif d'atteindre ou de conserver, d'ici à 2015, le bon état écologique ou le bon potentiel pour les masses d'eau superficielles ». La loi précise aussi que l'aménagement des obstacles les plus problématiques pour la migration des poissons sera mis à l'étude. Cette étude, « basée sur des données scientifiques, sera menée en concertation avec les acteurs concernés ».

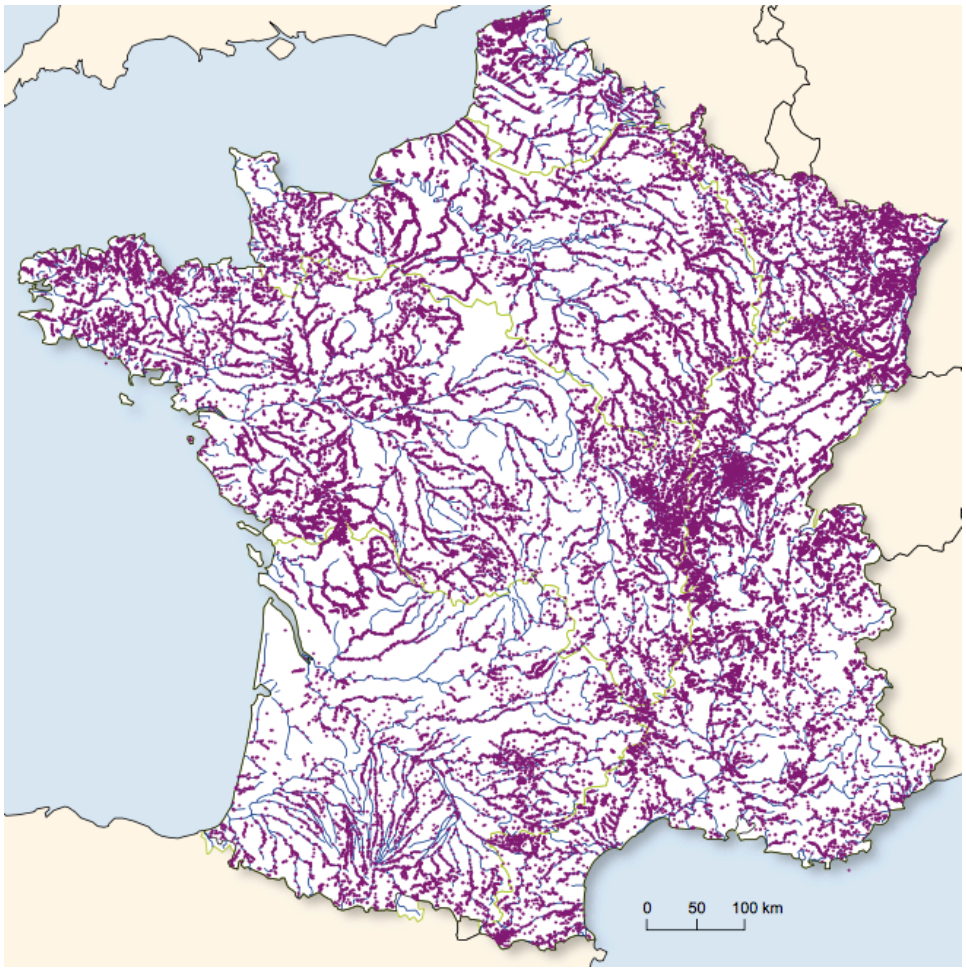

Fig. 1: Carte des obstacles à l'écoulement référencés par l'ONEMA en 2011 à partir de la base ROE (France continentale ; la Corse n'a pas été reportée sur la figure présentée).

Des outils sont rapidement mis en place pour mettre les lois en application: le SYRAH-CE (2009), un système relationnel d'audit de la géomorphologie des cours d'eau ; le PARCE (25/01/2010), un plan d'action pour la restauration de la continuité écologique ; la base ROE (Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement) en 2014 ; enfin le protocole CARHYCE qui permet de déterminer, à la station, l'état « objectif », puisque quantifié, des variables hydromorphologiques. Le Ministère de l'environnement et les agences de l'eau ont confié cette mission à l'ONEMA qui a produit des guides, des manuels et des brochures de vulgarisation (2010-2014). Ces documents sont basés sur le principe que les « dégradations physiques » en général ont des impacts qui « peuvent nuire au bon état écologique des cours d'eau ». En particulier, l'interruption de la continuité longitudinale « bloque les sédiments ».

La figure 1 montre bien la densité des ouvrages recensés. Les zones de forte concentration des obstacles sont préférentiellement localisées dans les massifs anciens (Vosges ; Massif central, en particulier le Morvan ; Massif armoricain), dans les régions de bas plateaux et de collines à vallées alluviales drainées par des rivières moyennes et petites. En revanche les Alpes, les Pyrénées et les Cévennes ont une quantité de seuils somme toute modeste bien qu'ils y aient été construits par dizaines de milliers (voir infra) pour bloquer les sédiments, ceci en application des lois sur la restauration des montagnes.

Sur la base du travail technique considérable réalisé par l'ONEMA, un total de 96 912 obstacles a été recensé, dont font partie la quasi totalité des seuils de moulins disséminés à travers l'hexagone. Une vingtaine de milliers de seuils seraient ainsi menacés.

Remarques

La restauration de la continuité est devenue la variable d'ajustement de la politique française alors que l'administration française manquait de moyens pour imposer au monde agricole, en si peu d'années, le bon état biologique et physico-chimique. Devant cet état de fait, fallait-il une politique nationale systématique ? N'eut-il pas fallu classer les masses d'eau par bassins pour tenir compte de la qualité des eaux réelle, au lieu d'adopter de manière nationale et donc trop généralisée et sans nuances, la politique de restauration physique ? Nombreuses sont par exemple les rivières des hauts bassins dont les eaux ont conservé une bonne qualité et où donc la suppression des obstacles transversaux ne s'impose pas.

Un des principaux problèmes que pose la mise en œuvre de la DCE est que cette dernière doit évaluer l'efficacité des politiques sur la base d'un « état de référence ». Celui-ci suppose que la référence historique soit celle de non-perturbation par les activités humaines (sur la base de cartes anciennes souvent); à défaut, des rivières naturelles (« pristine ») sont sélectionnées, ou encore de simples expertises ou des modèles. Mais aux Pays-Bas on recherche aussi « le meilleur état potentiellement atteignable » sur des rivières dégradées. Dans une synthèse portant sur les systèmes estuariens, Lévêque et al., (2011)[1] ont proposé de remplacer la notion de « bon état écologique » par celle « bon fonctionnement écologique » basé sur de nouveaux

[1] Lévêque C., Moussard S., Foussard V. et coll., 2011 : Synthèse du projet BEEST : vers une approche multicriyères du Bon Etat écologique des grands ESTuaires. Rapport, Ministère de l'Environnement, ONEMA, CEMAGREF, Litea, GIP Loire, Seine aval, 100 p.

indicateurs de qualité et de fonctionnement ; G. Bouleau et D. Pont (2015)[2] estiment que cette position sur l'état de référence est fondée sur le paradigme ancien de la stabilité et de la prédictibilité, paradigme qui est aujourd'hui remis en question par des notions telles que les trajectoires dynamiques qui prennent en compte des perturbations complexes (dues au changement climatique, à de multiples actions humaines sur la longue durée des millénaires) ; en d'autres termes le paradigme retenu « contredit tous les concepts modernes de l'écologie, sous-estime la nature continument changeante de notre environnement et ne prend pas en compte les interactions à long terme entre l'homme et la nature ». Dans une perspective de modernisation du concept, il a été proposé que les états de référence naturels soient remplacés par des objectifs basés sur les services que l'on peut attendre des écosystèmes (Dufour et Piégay, 2009)[3].

En somme, dans à la mise en œuvre de la DCE par la France, la politique d'effacement qui a été mise en place ne considère pas la réalité de la présence de poissons migrateurs dans le bassin, en particulier à l'amont de grands ouvrages, ni la réalité du transport solide. Elle se veut systématique sans considération des conditions locales.

2. Hydromorphologie et sédiments

2.1. Quelques principes de la continuité et de la discontinuité sédimentaires

2.1.1. Bases hydromorphologiques générales

Tel qu'il est formulé par les hydromorphologues, le principe de continuité sédimentaire est universel, les « sédiments » de différentes classes de taille descendant des parties hautes du bassin versant vers l'océan. Les fractions grossières sont usées pendant le transport ou se déposent de manière sélective en fonction de la réduction de l'énergie disponible pendant les crues ; les fractions fines sont transportées en suspension et se déposent en partie à la surface du lit majeur. Les matériaux qui y sont déposés ont vocation à être repris par le cours d'eau lorsque les divagations des chenaux le permettent. La composante temporelle est un facteur important car, en fonction de variables multiples, la reprise peut s'opérer sur des décennies, des siècles, voire des millénaires. Mais tous les matériaux ne peuvent être remobilisés car il existe des « puits sédimentaires », comme les lacs naturels ou des secteurs de dépôt de débordement en fond de vallée, à l'abri des reprises érosives. Le spectre granulométrique des chenaux est une des variables explicatives de la zonation longitudinale des cours d'eau, le principe de base étant que la taille des particules se réduit vers l'aval.

---

[2] Bouleau, G. and D. Pont (2015). Did You Say Reference Conditions? Ecological and Socio-economic Perspectives on the European Water Framework Directive, *Environmental Science & Policy,* 47, p. 32-41.

[3] Dufour S., Piégay, H., 2009 : From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25, p. 568-581.

Les conceptions de la continuité sédimentaire développées en France sur la base du texte de la DCE sont nettement influencées par le contenu des classifications longitudinales à vocation écologique et piscicole et trop peu par les acquis de la géomorphologie fluviale contemporaine. Sous l'influence du lobby des pêcheurs dits « sportifs », ces conceptions privilégient de manière excessive les poissons et singulièrement les salmonidés. Semblable main mise rappelle le conflit qui avait opposé deux conceptions de la pêche sur la Tamise dans les années 1980, celle des pêcheurs sportifs prêchant pour une épuration poussée et l'oligotrophie des eaux contre les pêcheurs de poissons blancs.

2.1.2. Un système fluvial déjà très perturbé par les barrages réservoirs

Le principe de restauration de la continuité sédimentaire s'inscrit dans un contexte national qui a été fortement impacté par des ouvrages dits « structurants », notamment par des barrages réservoirs. La figure 2 présente les retenues artificielles situées sur des rivières de bassins dont les pentes sont supérieures à 4%, ceux susceptibles de produire des sédiments et un transport solide significatifs (classes de tailles des particules supérieures à 2 mm).

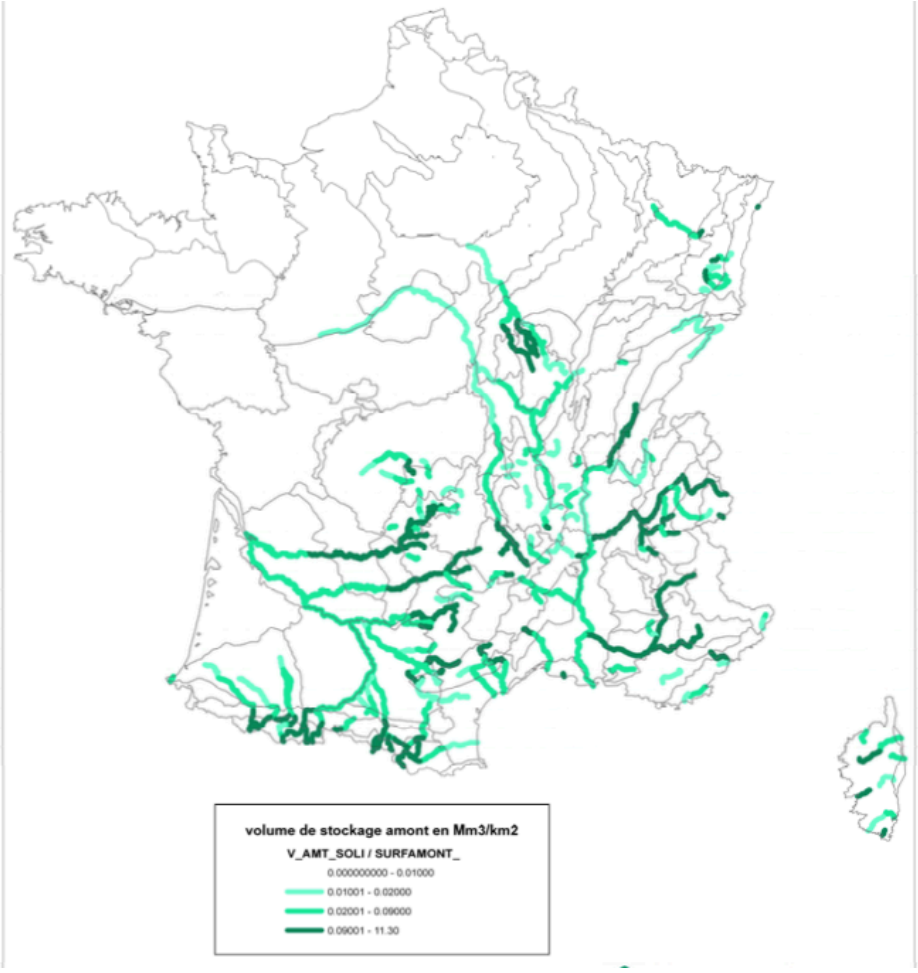

Fig. 2 : Volumes stockés dans les bassins versants amont par des « ouvrages structurants ». Source : CEMAGREF 2008 ; données reprises par le dispositif SYRAH CE (2009)[4]

[4] Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.-R., Souchon Y., Wasson J.-G., 2009 : *SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Atlas à large échelle*. Rapport CEMAGREF-Lyon remis à l'ONEMA, 58 p.

La cartographie du CEMAGREF (2008), même « très grossière » comme le reconnaissaient ses auteurs, fournissait d'amblée et implicitement d'importantes limites à la politique de restauration de la continuité, avant même que soient mises en œuvre les démarches SYRAH-CE, ROE et CARHYCE. Les ouvrages réalisés dans les massifs anciens, les Alpes et les Pyrénées ont depuis des décennies une action très importante sur les flux et, malgré le volontarisme affiché à leur endroit pour rendre les ouvrages « transparents » dans le cadre du renouvellement des concessions hydroélectriques, il est très douteux que les matériaux de dimensions supérieures à 2 mm qu'ils stockent puissent être mobilisés dans les décennies à venir. L'impact des ouvrages est considérable sur un linéaire fluvial d'une grande longueur développée. Encore faut-il noter que les barrages mis en place par la politique de la RTM (infra) ne sont pas pris en compte.

2.2. Les choix justifiant la position officielle

2.2.1. Le choix des rivières à charge de fond pour rétablir la continuité

Le choix a été fait pour les rivières du bassin Loire-Bretagne, bassin où a été lancée la démarche, de donner priorité à celles qui possèdent une charge de fond à transit actif; l'argument en faveur de ce choix est qu'il s'agit de substrats associés en principe à des conditions rhéophiles et favorables aux salmonidés et à d'autres espèces d'eau courante. Son rétablissement est un impératif réglementaire pour les cours d'eau classés par l'arrêté du 10 juillet 2012.[5] La « liste 2 » regroupe les cours d'eau sur lesquels des actions de restauration de la continuité sont considérées comme nécessaires et où le transport par charriage est justement une condition nécessaire à leur bonne réalisation. L'enjeu est complexe car ce n'est pas parce qu'une rivière a un fond caillouteux qu'elle connaît un transport solide suffisant en termes écologiques; et si la possibilité hydraulique existe, avec quelle périodicité ce transport se produit-il ? Sur quelles unités morphologiques et avec quelle intensité? Avec quel effet sur le fonctionnement écologique ?

2.2.2. Dans les bassins non impactés par les grands ouvrages, l'insuffisance des flux sédimentaires est-elle attribuable à l'histoire sédimentaire du bassin versant ou aux seuils en rivière?

Nous nous appuierons sur l'ouvrage de l'ONEMA consacré à la gestion des transports solides car il a été conçu pour servir de référence.[6] Les auteurs abordent en premier lieu les mécanismes du transport et son historique ; il s'agit d'un point clé qui est la diminution de la charge solide enregistrée depuis plus d'un siècle ; cette tendance lourde est très brièvement replacée dans la longue durée (800-2000 ap. J.-C.). Les auteurs admettent l'existence de fluctuations majeures de la production et des flux sédimentaires qui se sont manifestées, en montagne en particulier, à la fois sous contrôle climatique et sous contrôle anthropique (défrichements et surpâturage). En bref, la période froide du Petit Âge Glaciaire (PAG) a

---

[5] Arrêté du 10 juillet 2012 portant sur la liste 1 des cours d'eau, tronçons de cours d'eau ou canaux classés au titre de l'article L. 214-17 du code de l'environnement du bassin Loire-Bretagne.

[6] Malavoi J.-R., Garnier C.-C., Landon N., Recking A., Baran Ph., 2011 : *Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière*. ONEMA, Paris, 214 p.

produit une forte quantité de sédiments grossiers à la source et des flux hydriques et solides importants. Elle constitue donc une période de crise qui a suivi une période de calme hydromorphologique antérieur au XIVe s. L'ouvrage rappelle que la sortie du PAG est attribuée à plusieurs causes qui ont agi de manière conjointe ou dissociée selon les lieux ; ce sont : le retour à des conditions climatiques moins agressives, la stabilisation volontaire des versants (travaux de la RTM), le piégeage de la charge en montagne grâce à des seuils de stabilisation, la concomitance de la déprise agro-pastorale et d'une revégétalisation spontanée. Dans la même période, les transferts solides dans les chenaux fluviaux ont été ponctionnés de manière plus ou moins intense par des curages, des dragages et des extractions, la protection des berges réduisant la recharge sédimentaire par érosion du stock alluvial.

Une difficulté à bien saisir le phénomène est que le bilan réalisé par l'ONEMA est général et non spatialisé, enfin très rarement quantitatif faute de données disponibles. Les effets hydromorphologiques du PAG n'ont pas fait l'objet d'une évaluation à l'échelle régionale et, par tradition, l'accent est mis sur l'expérience alpine ou plus généralement sur l'expérience montagnarde. On peut cependant supposer que l'ensemble des régions françaises a connu de manière intense ou ténue la crise du PAG, subi sous des formes spécifiques les impacts de la période post-PAG, et enfin connu la situation de déficit sédimentaire. On saisit donc que la question de la continuité sédimentaire s'inscrit depuis 2000 dans un contexte séculaire de bilan sédimentaire négatif mais sans pouvoir, sauf exceptions, en donner un bilan régional ou quantitatif.

La démonstration de l'ONEMA met ensuite l'accent sur les impacts des seuils et des barrages mais ils sont décontextualisés par rapport à l'espace géographique et au temps. Les relations existant entre la typologie des rivières et la diversité des « hydroécorégions », pourtant bien étudiées dans les années 1990, ne sont pas analysées. Il est simplement précisé que « la grande majorité des ouvrages transversaux quel que soit le type de cours d'eau, bloque une fraction importante, voire la totalité, de la charge alluviale grossière » (p. 95). La question du temps dans le blocage de la charge en arrière de seuils est évoquée sans toutefois être résolue et il n'est pas fait mention des seuils médiévaux antérieurs à la crise du PAG qui ne peuvent avoir piégé la charge pendant une durée de plusieurs siècles. Reste que nombre de seuils sont considérés comme « transparents » ou « non piégeants » lorsque le jeu des facteurs de transfert s'y prête, constat honnête qui relativise fortement le postulat cité plus haut.

L'analyse a donc glissé d'une conception spatio-temporelle correcte (même si elle est incomplète) à la vision spatialement localisée du tronçon ou du site, et temporellement contrainte, celle que souhaitent les gestionnaires des rivières car elle entre dans la vision traditionnelle (et maîtrisée) de l'ingénieur. Après trois décennies de recherche géomorphologique au service des cours d'eau dans une perspective « bassin versant », la mise en oeuvre de la DCE est retournée à l'échelle stationnelle, ce que la conception de l'outil SYRAH-CE laissait attendre.

2.1.3. Assurer un « transport suffisant des sédiments » grossiers: le choix officiel de l'échelle du site

Le faible transit sédimentaire des rivières est résumé dans la notion nouvelle de « mauvais fonctionnement hydromorphologique » et sédimentaire, lequel est explicitement relié aux lourds travaux de chenalisation réalisés dans les décennies précédentes. Dans le contexte largement irréversible du tarissement post-PAG et de l'héritage de travaux lourds, restent alors deux solutions pour satisfaire aux exigences de la directive européenne en privilégiant

les mesures de restauration physique: 1) restaurer la mobilité des cours d'eau pour les réalimenter par déstockage latéral, et 2) détruire les seuils et certains barrages pour restaurer la continuité longitudinale des sédiments. Il est clair que les conditions sont beaucoup plus favorables à la mise en cause des seuils. Ces derniers deviennent en quelques années la variable d'ajustement qui permettrait de rétablir un transport sédimentaire mis à mal par des décennies de gestion souvent contestable des fleuves et des rivières. Araser les seuils permettra d'assurer un transport sédimentaire suffisant des sables, graviers, galets et blocs pour rétablir l'équilibre sédimentaire malmené ; telle est la conception dominante.

Le Code de l'environnement a introduit en 2007 la notion de « transport suffisant » (sous-entendu de charge de fond) dans les cours d'eau classés dans la Liste 2 (art. L214-109). Or il n'existe pas de définition juridique précise de ce qu'est un transport « suffisant » et il est aujourd'hui difficile de le définir de manière absolue ou même qualitativement fiable. La composante juridique de l'ouvrage de l'ONEMA précise que s'il existe « un dysfonctionnement en termes d'équilibre sédimentaire, il est indispensable de le résorber ou en tout cas de le réduire par des modalités d'exploitation ou par des interventions sur des ouvrages ou structures perturbant ce transport sédimentaire suffisant » (Malavoi *et al*., 2011, p. 122). Or la proposition, louable dans son principe, de remédier au déséquilibre sédimentaire repose sur un postulat : celui selon lequel il serait possible de remédier au dysfonctionnement du transport naturel des sédiments en supprimant simplement les obstacles au transit : il y aurait ainsi un bilan sédimentaire équilibré lorsque le transport, rendu naturel par la suppression de seuils, « transiterait régulièrement vers l'aval, au rythme des évènements naturels capables de les transporter » (les crues).

L'analyse de la question telle qu'elle est posée est riche d'enseignements. L'équilibre sédimentaire et hydromorphologique est considéré dans la nouvelle doxa à l'échelle de courts tronçons, d'effets localisés de piégeage en arrière de seuils ou de reprise à l'aval. Le choix est explicitement fait d'exclure du débat les modifications existant à l'échelle du bassin versant (« on ne parlera pas des modifications à l'échelle du bassin versant liées à la réduction des apports de charge de fond sous l'effet de la reforestation, des travaux RTM, etc. », p. 125), qu'il s'agisse de l'utilisation des sols ou de l'existence d'ouvrages structurants comme les réservoirs. On est donc devant un choix d'échelle de compréhension et d'intervention qui devient se libère du bilan sédimentaire du système fluvial et en devient indépendant. En clair, cela signifie que l'ingénierie de la restauration, pour légitimer ses actions sectorielles, en est réduite à retrouver 30 à 40 après, les pratiques de l'ingénierie des rivières qui résolvaient les « dysfonctionnements » (érosion de berges, accumulations localisées, etc.) à l'aide de mesures structurelles localisées. Il est fort regrettable que la solution de facilité, qui est de travailler quasiment à seule échelle de sites et sous la protection d'un droit réductionniste, ait été retenue par l'Administration et soit pour l'heure seule mise en œuvre.

La restauration d'un « transport suffisant des sédiments » telle que prévue dans le code de l'environnement (L214-17) signifierait « le meilleur niveau possible de transit » en tenant compte des meilleures techniques disponibles. Il s'agirait de manière pratique de recréer un « bon déroulement du transport naturel des sédiments » à l'échelle des <u>sites</u> aménagés (R214-1) et de « maintenir le cours d'eau dans son profil d'équilibre ».

Or l'exposé de ce qu'est un profil d'équilibre sensé être respecté par un riverain (p. 127-128) est très daté (conception en vogue au milieu du XXe siècle), sans égard pour les principes modernes de l'équilibre et du déséquilibre dynamiques qui sont infiniment plus complexes. Le texte précise d'ailleurs que le législateur se situe à l'échelle du tronçon, plus ou moins

modifié par les riverains, et que son analyse se fait « indépendamment des fluctuations naturelles des variables de contrôle (débit liquide et débit solide notamment) » (p. 129). La seule concession au temps des processus est l'échelle de 3 à 5 ans pour prise en compte d'épisodes hydrologiques capables de lisser le bilan sédimentaire local (celui du site ou du tronçon géomorphologique homogène) ; l'ambition est même de garantir durablement un bilan sédimentaire équilibré (p. 131). Ainsi sera préservé le bon fonctionnement écologique, non pas de « l'hydrosystème fluvial en général » comme le dit le texte, mais plus prosaïquement de l'écosystème du tronçon (ou du site d'intervention). La difficulté de l'approche holistique est reconnue et la prise en compte du fonctionnement de l'hydrosystème est écartée.

2.1.4. Les sédiments fins dans le système fluvial

L'excès de sédiments fins peut, sur certains cours d'eau, avoir un effet considérable sur les habitats et les biocénoses. Or les sédiments fins sont exclus de l'étude de l'ONEMA car ils seraient majoritairement produits par l'érosion agricole (un point qui est moins simple qu'il n'y paraît selon nous dans la mesure où des régions hydromorphologiques produisent naturellement des quantités de fines importantes, comme dans certains bassins des Alpes du Sud).

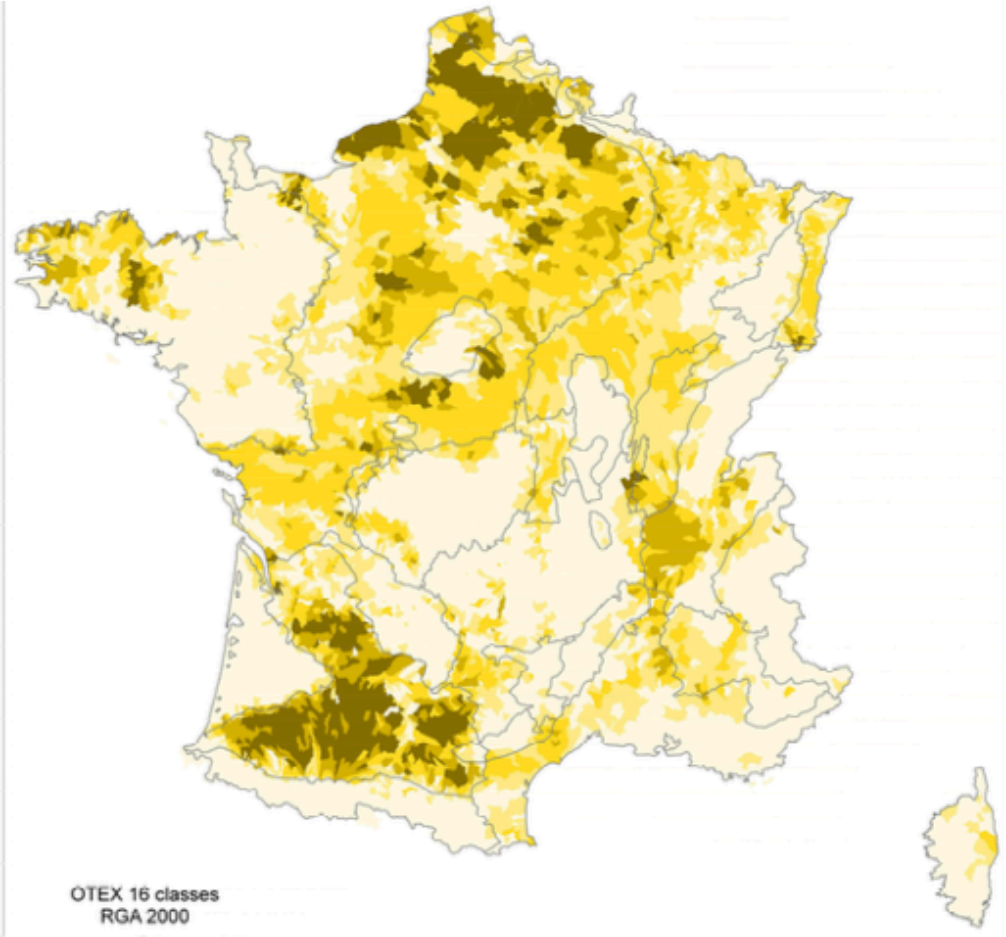

Fig. 3 : Carte agrégeant les indicateurs de risque d'érosion diffuse d'origine agricole. Source : CEMAGREF 2008 ; données reprises par le dispositif SYRAH CE (2009), *op. cit*.

Il est intéressant de constater que l'impact des pratiques agricoles sur le transfert des particules fines des versants aux rivières n'est pas pris en compte dans la réflexion portant sur la politique de continuité (ce qui ne veut pas dire qu'il ne soit pas abordé dans d'autres contextes). L'érosion superficielle des versants cultivés, le drainage agricole, la suppression de linéaires de ripisylve, ou encore le piétinement du bétail sur les berges sont des facteurs de l'érosion d'origine agricole qui véhicule des sédiments et des substances polluantes.[7]

Enfin les dépôts formés dans les retenues, en particulier ceux qui sont à dominante fine, sont susceptibles de porter l'héritage de périodes d'extraction minière et d'activités minéralurgiques ou métallurgiques polluantes. Le relarguage des sédiments par érosion du remplissage d'une retenue de moulins peut être dommageable à la bonne santé de la rivière sur l'ensemble de son cours (Howard *et al*., 2017).[8] Ce point est à juste titre souligné par OCE (24/09/2017)[9] car il concerne aussi les régions françaises de vieille activité industrielle. Les normes en matière de dragage des rivières navigables sont très contraignantes et devraient s'appliquer avec la même rigueur sur les cours d'eau équipés de moulins, au moins au titre du principe de précaution.

2.1.5. De l'échelle locale au plan de gestion, la nécessaire ouverture

La partie juridique de l'ouvrage de l'ONEMA (« Le droit applicable au transport sédimentaire ») fournit des éléments de droit assez réductionniste. Cette conception particulière du cours d'eau est concrétisée dans des « Orientations générales de gestion » qui valorisent les solutions locales, telles que l'érosion latérale et la continuité sédimentaire via le transfert assisté de la charge disponible en arrière des seuils ; il est affirmé que les actions sur le seuils assureront, sans équivoque, « une restauration complète et définitive de toutes les fonctionnalités du cours d'eau » (p. 149).

---

[7] *Des études réalisées dans la région du Creusot et portant sur plusieurs dizaines de kilomètres de cours d'eau montrent une éradication totale des ripisylves sur 60% des linéaires des deux berges. Le processus est le résultat de nombreuses années de gestion agricole consistant à maintenir les berges accessibles au bétail sur tout le linéaire. Lors de l'exploitation, le plus souvent à blanc, de la végétation, les rejets hautement appétents sont broutés l'année suivante, la ripisylve est définitivement éradiquée dès l'année suivante, les souches ne pouvant plus rejeter. Sur l'Orbize, malgré une tête de bassin occupée majoritairement par les boisements et les prairies permanentes, le moindre épisode pluvial s'accompagne d'un intense transport de fines colorant les eaux d'une teinte beige. Celle-ci est générée par le piétinement du lit mineur de la rivière et l'érosion des berges entretenue par les troupeaux, érosion aggravée par leur stationnement de plus en plus fréquent tout l'hiver. Les biefs de dérivation des moulins aux eaux moins véloces que celles de la rivière sont des espaces stockant une partie des fines entraînées par cette érosion d'origine agricole. Dans le cas des ouvrages entretenus, un curage annuel des fines est réalisé avec épandage des matériaux sur les parcelles attenantes. Ces matériaux fins à forte valeur agronomique par leur richesse en matière organique sont donc conservés au sein du bassin versant plutôt qu'exportés vers l'aval comme ils le seraient en l'absence de ces ouvrages* (Alain Desbrosse, ingénieur écologue, *in litteris*).

[8] Howard A.J., Coulthard T.J., Knight D., 2017 : The potential impact of green agendas on historic river landscapes: Numerical modelling of multiple weir removal in the Derwent Valley Mills world heritage site, UK *Geomorphology*, 293, A, 15, p. 37-52.

[9] OCE, 2017 : Héritage sédimentaire: analyser les sédiments des retenues de moulin avant intervention. 24 septembre.

La partie réglementaire telle qu'elle a été formulée en 2011 a suffi aux gestionnaires (Ministère, DREAL, Agences de l'Eau) pour asseoir avec certitude une politique qui fait du seuil le coupable idéal. Cette conception aurait pu cependant être contrebalancée par des propositions formulées dans un bon chapitre de l'ouvrage, modestement intitulé « Eléments d'aide à l'élaboration d'un plan de gestion du transport solide » (p. 149 *et sq*) et prudemment présenté comme de simples préconisations. Le principe vertueux souhaité par le législateur (CE-L215-15) serait de pratiquer la gestion à l'échelle d'Unités hydrographiques cohérentes (ou UHC) afin « d'empêcher toute gestion localisée sans vision globale du fonctionnement du cours d'eau ». Les étapes du diagnostic sont conformes aux exigences classiques d'un « bilan sédimentaire » et sont présentées aux bonnes échelles, de même que les dysfonctionnements hydrosédimentaires. Découlerait de ces étapes du travail un plan de gestion du transport solide à l'échelle des UHC, plan prenant en compte les enjeux socio-économiques. Cependant si une HUC est assez facile à définir sur dans un système associant des torrents et une rivière torrentielle de montagne, l'échelle de l'UHC à retenir en plaine n'est pas définie avec rigueur ni avec ambition de sorte qu'elle semble être peu orépationnelle.

Le transport solide est en premier lieu conditionné par le potentiel de fourniture sédimentaire du bassin fluvial. L'efficacité des systèmes d'information géographique mobilisés a conduit l'ONEMA à retenir des couches d'information à la fois pertinentes et d'acquisition aisée. Leur superposition permet de déterminer des aires de productivité potentielle qui vont de nulles à fortes. Parmi les critères fréquemment retenus on peut retenir la pente des versants, le contexte géologique et la lithologie, les précipitations et la couverture végétale ou encore la pente du cours d'eau. Cependant il ne s'agit que d'un potentiel et la capacité de comprendre les processus mis en jeu est inversement proportionnelle à la puissance de généralisation que procure le SIG. Il serait donc indispensable de travailler à des échelles plus fines permettant de localiser et de comprendre les modalités de l'alimentation sédimentaire.[10] En ce sens, les études faites à l'échelle d'UHC d'une taille suffisante seraient possibles à l'instar de travaux réalisés dans des bassins de taille réduite à moyenne (Liébault, 2002)[11].

Les seuils sont à supprimer mais il est inutile de chercher à comprendre les raisons pour les quelles ils ont été construits au fil de l'histoire du territoire. La politique officielle postule que la plupart n'ont plus d'utilité économique et ont perdu leurs droits d'eau mais la question se pose maintenant de savoir si certaines raisons qui ont présidé à leur construction ont réellement perdu de leur actualité et de leur pertinence.

[10] Il est admis que l'on peut distinguer sédiments provenant du « stock alluvial interne » au système fluvial (reprises dans la plaine alluviale ou aux dépens de formes fraiches du lit mineur) et une multitude de sources externes au cours d'eau, elles-mêmes classées en « production primaire » (ablation de la roche mère et dépôts de pied de versant) et production secondaire (apports des affluents). Nous ne retiendrons pas intégralement cette distinction car les affluents sont des composantes pleines et entières du système fluvial et non pas des sources de sédiments externes.

[11] Liébault, F., Piégay, H., 2002. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, p. 425–444.

3. Quelques objectifs de la construction des seuils en rivière

Il existe au moins trois types de seuils, le premier relevant de l'initiative individuelle ou de celle de collectivités rurales, les deux autres de l'initiative de l'Etat et de ses services

3.1. Les seuils alimentant des moulins, des usines et facilitant l'irrigation en milieu rural

Des seuils transversaux ont été construits par des particuliers et des communautés depuis le Moyen Âge au moins, pour relever en permanence la ligne d'eau de la rivière. L'objectif était de dévier de l'eau pour l'irrigation des prairies et de convertir l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique grâce aux roues des moulins puis aux turbines. Les deux objectifs étaient fréquemment combinés. L'eau d'irrigation apportée par des « béalières » cévenoles (de petits canaux d'irrigation) percolait dans les terrains en pente perméables et rejoignait en partie la rivière. Les pénuries d'eau estivales et interannuelles ont fréquemment motivé la création d'un lien organique entre le seuil en rivière, l'établissement d'un moulin et le creusement de béalières qui suivaient les courbes de niveau mais avec une pente faible (Jacob, 2005 ; Véron, 2017 ; Bouvard, 2016)[12]. Sur l'essentiel du linéaire hydrographique français, la construction des moulins a été autorisée car le moulin était l'auxiliaire nécessaire des activités agricoles (meunerie) et artisanales (textile, cuir, métallurgie).

Le principe du seuil et de la dérivation a été retenu pour les usines utilisant la force hydraulique (énergie mécanique puis électrique) au XIXe siècle : moulinages, tissages… Les dimensions sont supérieures. Des écluses ont été ajoutées (Lot), ou des passages à bateaux (plans inclinés (Ain). Les moulins, équipés de seuils, ont été construits sur tous les types de rivière car la technologie des moulins était capable de s'adapter à des situations physiques très variées (pente, vitesse de l'eau, présence ou absence de sédiments).

L'absence de moulins était en général due à la politique de l'Etat lorsqu'un autre usage de la rivière devait primer, comme le flottage et la navigation sur des rivières d'un débit suffisant pour la porter, au moins de manière saisonnière (cf mesures prises par Colbert qui classa les rivières dites « navigables et flottables » comme non utilisables par des moulins flottants ; de rares moulins fixes étaient néanmoins tolérés). Le moulin a donc eu une existence conditionnée par la demande économique. Aujourd'hui la plupart des moulins ont perdu leur fonction économique mais pourraient la retrouver par une production hydroélectrique.

Par ailleurs, depuis plusieurs décennies, de nouvelles utilités sont apparues : le moulin a une valeur patrimoniale reconnue par de nombreux acteurs du territoire. La qualité de beaucoup de paysages intègre les moulins et les aménagements qui leur sont liés ; ce type de rivière remplit des fonctions sociales qui sont aujourd'hui défendues (plans d'eau de baignade, de

[12] Véron C., 2017 : *Moulins. Technique, espace et société au bord de l'eau. Le Vivarais du Moyen Âge à la fin du XIXe siècle*. Lagorce, Editions du Chassel, Editions de l'Ibie, Fédération Des Moulins de France, Coll. Ardèche Histoire, 622 p. ; Jacob, 2005 : Prélèvements hydriques de l'agriculture et de l'industrie en Cévenne vivaraise depuis le XIXe siècle : l'apport des archives à la gestion contemporaine. *La Houille Blanche*, 97, 3, p. 97-102. ; Bouvard E., 2016 : Empreintes monastiques en moyenne montagne du XIIe siècle à l'Actuel. Archéologie des espaces et des paysages cisterciens dans les anciens diocèses de Clermont et du Puy. Thèse histoire université Lyon 2, 732 p.

pêche).[13] Or ces fonctions sont niées au profit des seules positions écologiques favorables à la continuité.

3.2. Les seuils construits à l'initiative de l'Etat pour la gestion sédimentaire des cours d'eau

3.2.1. *L'œuvre du Service de Restauration des Terrains en Montagne (RTM)*

Le RTM a construit des milliers de seuils transversaux (souvent dénommés « barrages forestiers ») à la fin du XIXe siècle, en application des lois de 1860 et 1882. La période couvrant la fin XIXe siècle et le début du XXe siècle (avant la guerre de 1914-1918) n'a cependant pas inauguré cette pratique qui est démontrée depuis la fin du XVIIIe siècle au moins. Ces barrages ont été destinés au contrôle des torrents dans les hauts bassins soumis à une érosion intense (Alpes, Cévennes, Pyrénées). Les objectifs étaient de réduire l'érosion dans les bassins torrentiels (conjointement avec le reboisement et l'engazonnement des pentes dénudées) et de retenir la charge pour éviter sa descente vers l'aval (Piton et Recking, 2016)[14].

Il convient d'ajouter à cette œuvre forestière majeure les effets de la dépopulation des massifs montagneux au profit des vallées et des sites industrialo-urbains ; la réduction des cultures et du pâturage a aussi facilité la recolonisation forestière, dans ce cas spontanée, des versants d'altitude (Landon, 1999)[15].

Le but ultime de cette politique était de réduire la charge en transit dans les rivières et les fleuves car les dépôts dans le chenal étaient accusés d'aggraver le risque d'inondation et de gêner la navigation du fait de la mobilité des formes construites par la charge de fond. Le Rhône et la Garonne ont été particulièrement concernés en complément de nombreux cours d'eau torrentiels de moindre importance. En effet la crue de 1840 et surtout celle de 1856 ont été à l'origine de la politique initiée par Napoléon III.

La politique de contrôle des torrents a été un succès que des travaux récents ont cependant relativisé. Sa mise en place a exactement coïncidé avec la fin de la crise hydroclimatique du Petit Âge Glaciaire. Cette période a connu un « découplage » entre les versants et les chenaux torrentiels ainsi qu'une réduction des entrées sédimentaires dans les rivières torrentielles (Astrade *et al*., 2011.[16]

---

[13] Barraud R., Germaine M.-A. (coord.), 2017, *Démanteler les barrages pour restaurer les cours d'eau. Controverses et représentations*, Versailles, Editions Quae, 240 p.

[14] Piton, G., Recking, A., 2016 : Effects of check dams on bed-load transport and steep-slope stream morphodynamics, *Geomorphology*, 291, p. 94-105.

[15] Landon N., 1999 : *L'évolution contemporaine du profil en long des affluents du Rhône moyen – Analyse régionale et étude d'un hydrosystème complexe : la Drôme*. Thèse de doctorat en géographie, Univ. Paris IV-Sorbonne, 2 vol., 760 p.

[16] Astrade L., Jacob-rousseauN., Bravard J.-P., Allignol F., Simac, L., 2011 : Detailed chronology of mid-altitude fluvial system response to changing climate and societies at the end of the Little Ice Age (Southwestern Alps and Cévennes, France). *Geomorphology*, 133, issue 1-2, pp. 100-116.

Les effets de la politique du RTM et les causes annexes de réduction des flux sédimentaires mentionnées qui viennent d'être exposées ont été très bénéfiques si l'on considère la réalisation des buts initialement poursuivis après les crises caractérisant la période 1840-1860. Ils se sont cumulés avec les facteurs hydroclimatiques et ont produit à l'aval des zones de production sédimentaire l'enfoncement des rivières et la progression des ripisylves sur les anciennes formes d'accumulation.

3.2.2. Les seuils construits pour corriger les excès des extractions autorisées en lit mineur

L'extraction de la charge de fond en lit mineur a été autorisée sur certains cours d'eau par la puissance publique, ce dès la fin du XIXe siècle, principalement pour satisfaire les besoins de la voirie. Cette politique a connu son apogée dans les années 1950-70 pour la construction des autoroutes et l'édification de remblais pour toutes sortes d'installations techniques (zones industrielles, autoroutes, centrales nucléaires en plaine alluviale, etc.). Après l'irruption du béton dans la technologie contemporaine, les besoins de la construction ont motivé des extractions massives de gravier et de sable dûment autorisées ; les volumes réellement extraits ont fréquemment excédé les autorisations signées. Les extractions en lit mineur ont souvent eu plusieurs causes conjointes:

- La continuation logique de la politique de correction des effets négatifs d'un excès d'érosion torrentielle. Extraire, c'était supprimer des facteurs de risque et nombre de collectivités demandent encore aujourd'hui, à tort ou à raison, des extractions lorsque des crues atteignent des niveaux inquiétants, la loi Montagne le permettant.

- Les sédiments composant la charge de fond ont été une ressource économique majeure pour notre société. En parallèle, les politiques territoriales ont encouragé localement l'intégration d'objectifs complémentaires grâce aux extractions: satisfaire la demande économique et sociale en granulat, réduire les inondations au bénéfice de l'agriculture, conquérir des terrains pour l'industrie et l'agriculture en marge de rivières approfondies, rétrécies et endiguées. Les exemples abondent dans les départements.

- L'intérêt de maîtriser les flux solides originaires des montagnes pour permettre la gestion des ouvrages hydroélectriques. Avec des extractions, il s'agit par exemple de freiner le remplissage des retenues à l'amont des barrages construits dans les vallées inondées (Drac, Durance) et de permettre la bonne gestion de la chaine des ouvrages du Rhône en restreignant les entrées sédimentaires dans le fleuve.[17]

Les excès de cette politique se sont manifestés dès la fin des années 1970 et surtout dans les années 1980 car les causes précédentes se sont combinées :

- la rétention des sédiments dans les hauts bassins (RTM)
- l'extraction massive de matériaux en rivière (Loire, Allier, Doubs et Loue, rivières alpines, Garonne…)
- le rétrécissement de rivières par des digues longitudinales (depuis des siècles) et l'augmentation corrélative des forces tractrices.
- Ces causes combinées (cas les plus graves).

[17] Bravard J.-P., 2016: Aménagement hydroélectrique et continuité de la charge de fond. Contribution à une mise en perspective historique dans des bassins alpins affluents du Rhône. *Bull. Soc. Géogr. de Liège*, 67, p. 181-194.

L'incision des lits fluviaux est la conséquence souhaitée des extractions mais ses abus et la faiblesse des suivis ont conduit à la manifestation d'effets indésirables et coûteux pour les collectivités et pour l'environnement surtout.

- des effondrements d'ouvrages (digues et ponts),
- l'abaissement de la nappe et la perte de ressources en eau potable,
- l'assèchement de biocénoses terrestres,
- Beaucoup de rivières, notamment alpestres, manquent de charge, le substratum affleure, les conditions biologiques sont appauvries (Bravard *et al*., 1997)[18].
- des érosions de berges accentuées.
- la création de discontinuités longitudinales qui se révèlent trop efficace aujourd'hui :

Les extractions ont été fort heureusement interdites dans la plupart des cas au début des années 1990. L'incision fluviale a alors conduit à des mesures de correction coûteuses pour la collectivité. Ces mesures ont été prises à l'initiative des DDE pour lutter contre la pénurie de sédiments qui avait conduit au processus d'incision des lits fluviaux. Il s'agit de la construction de seuils et de rampes en rivière destinées à retenir les sédiments dans les tronçons devenus déficitaires. Le coût a été considérable pour la collectivité, au point que ces mesures ont par exemple excédé la valeur des sédiments extraits dans la vallée de l'Arve selon les calculs de la DDE 74 (Blanc et al., 1989).[19]

Conclusions

- Les seuils contemporains ont eu pour objectifs de corriger des excès en partie dus aux actions humaines à l'échelle des bassins et des tronçons fluviaux.

- les notions d'excès et de pénurie sédimentaire dépendent des bassins et des politiques suivies. Excès et pénurie s'expriment sur un temps physique et social assez long. La temporalité est trop souvent oubliée et les moyens scientifiques et techniques sont rarement sollicités pour en mesurer les effets indésirables émergents.

- On ne parle pas dans la loi sur la continuité sédimentaire des seuils forestiers et des seuils de contrôle des profils en long dégradés. Ces mesures de correction sont la conséquence de politiques qui n'ont pas tenu compte des effets à distance et dans le temps de la politique forestière et de la politique d'autorisation des extractions. Ils peuvent localement priver des rivières torrentielles d'une charge solide qui leur serait bien utile.

---

[18] Bravard J.-P., Amoros C., Pautou G., Bornette G., Bournaud M., Creuzé des Chatelliers M., Gibert J., Peiry J.-L., Perrin J.-F., Tachet H., 1997 : River incision in Southeastern France : morphological phenomena and ecological impacts. *Regulated Rivers: Research and Management*, 13, p. 75-90.

[19] Blanc X., F. Pinteur F., Sanchis Th., 1989 : Conséquences de l'enfoncement du lit de l'Arve sur les berges et les ouvrages. Bilan général des transports solides sur le cours d'eau. *La Houille Blanche*, 3-4, pp. 226-230.

4. Approche critique et constructive

4.1. La difficulté d'établir des bilans sédimentaires à l'échelle des bassins

Dans la perspective élargie de l'ouvrage de l'ONEMA (Malavoi *et al.*, 2011), la méthode retenue en 2013 par la région Centre a été de classer les cours d'eau en fonction des enjeux des éventuels dysfonctionnements sédimentaires qu'ils sont susceptibles de présenter (Braud et Alber, 2013)[20]; l'enjeu est dit « fort » lorsqu'il peut lui-même introduire un dysfonctionnement écologique. La méthode de diagnostic est dérivée de l'outil SYRAH-CE mis au point par l'ONEMA et IRSTEA. Le risque « fort » d'altération de la continuité sédimentaire d'une part et de la structure et du substrat du lit d'autre part est considéré de manière probabiliste (à 70%) à partir de pressions anthropiques très qualitatives. A cette échelle, la méthode impose une grande prudence. Sur les rivières sélectionnées grâce à la méthode SYRAH-CE, les anomalies de fonctionnement identifiées par rapport à l'état naturel sont croisées avec les obstacles existants (les seuils) et avec les impacts observables à leur aval. Si le facteur sédimentaire n'est pas jugé responsable de la dégradation des habitats, il est envisagé de chercher (et alors seulement) d'autres causes. En cas d'altération dite « non significative » et de transport « probablement suffisant », le risque d'altération des habitats aquatiques peut se produire à moyen ou long terme (sous-entendu à cause des seuils)[21]. Mention n'est pas faite des pollutions comme facteurs de dysfonctionnement écologique.

Remarquons que l'existence d'entrées sédimentaires en tête de bassin, même très faibles, peut servir d'alibi commode pour justifier la mise en accusation des ouvrages transversaux dans les cas de dysfonctionnements localisés au motif que ces ouvrages gêneraient le transit sédimentaire. La méthode est claire mais difficile à mettre en oeuvre dans la mesure où le facteur « ouvrage » est seul pris en compte dans la recherche des dysfonctionnements ; les dimensions bassin et même UHC sont quasiment absentes du raisonnement.

4.2. Quels transferts sédimentaires sur les rivières actuelles ? Des progrès récents.

Seule un nombre suffisant d'études détaillées permettra d'approcher une régionalisation des bilans sédimentaires, ce que nous ne savons pas encore faire car l'investissement ne fait que débuter dans ce champ de la recherche-action. Nous présenterons ci-dessous des recherches récentes réalisées pour mieux connaître un certain nombre de cours d'eau et leur fonctionnement, soit de manière fondamentale, soit pour anticiper les effets de la politique d'effacement des seuils. Tous ces travaux portent sur des rivières à graviers et galets, la question des sédiments fins n'étant pas abordée dans ce cadre.

La question peut être traitée à dire d'expert, manière de procéder rapide mais forcément approximative. Elle peut aussi l'être par des mesures et des calculs hydrauliques, méthode

---

[20] Braud S., Alber A., 2013 : Synthèse des connaissances & proposition d'une méthode d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau. DREAL Centre,

[21] Une approche rapide de la fourniture sédimentaire dans le bassin Loire-Bretagne pour la DREAL Centre-Est a révélé qu'il y subsiste de petites zones de production active au sein d'une tendance générale au tarissement (Giraud, 2017). Mais ce n'est sans doute pas assez pour affirmer que le bilan sédimentaire est équilibré ; la solution retenue est donc de jouer sur la variable seuil, l'énergie du cours d'eau (et d'autres facteurs socio-économiques) ne permettant pas de déstocker les matériaux de la plaine alluviale.

fiable mais de mise en œuvre lourde et coûteuse. Surtout elle est utile à l'échelle de sites, beaucoup moins à l'échelle de tronçons.

4.2.1. Les régions de montagne

Une autre question très importante est celle du temps. Dans un massif montagneux qui produit aujourd'hui moins de sédiments, dans une vallée où l'érosion latérale se réduit, le transit observé en un point n'est pas une donnée stable ; il est appelé à se réduire lorsque le point de mesure est affecté par le tarissement. Le Diois illustre bien la question :

Durant la crise du Petit Âge Glaciaire (1350–1860 environ), dans un contexte de très fort défrichement des versants et de recul sévère du couvert forestier, des épisodes météorologiques (dont on cerne encore mal les caractéristiques en termes de saisonnalité, de fréquence et d'intensité) ont produit des écoulements et des transports solides qui se sont traduits par un accroissement des débits de crue et par une très forte augmentation des débits solides grossiers. La réponse des lits fluviaux et torrentiels a été l'engorgement des lits fluviaux qui s'est manifesté de manière généralisée par un exhaussement des profils en long et par l'extension du style fluvial en tresses (Roche *et al.* 2005).[22]

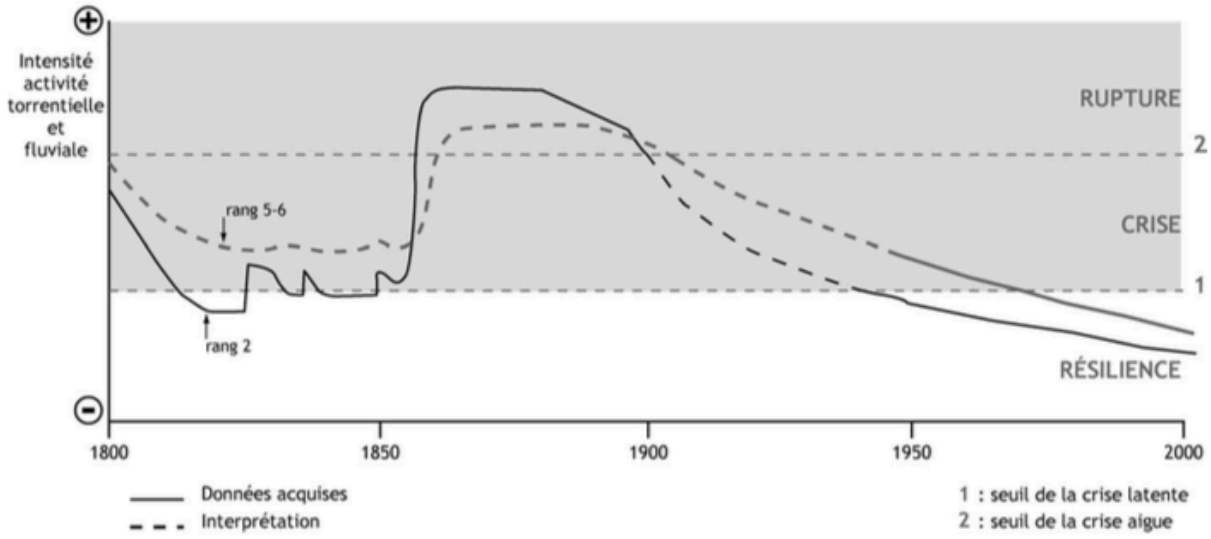

Fig. 4 : Modèle de comportement des torrents et des rivières torrentielles du Diois au XIXe-XXe siècles (in Roche *et al.*, 2005).

Dans le haut Diois, la crise torrentielle a été discontinue au long du XIXe siècle, avec des périodes de crise marquées par la réponse précédente (1800–1820, 1840–1843, 1856–1875 environ) et séparées par des périodes de répit caractérisées par le déstockage sédimentaire (1820–1840; 1843–1850 notamment). La « sortie » du Petit Âge Glaciaire s'est faite très progressivement à partir de 1875. De manière générale, les cours d'eau de rang inférieur ont été plus réactifs que les cours d'eau de rang supérieur dans les périodes de crise et de rupture après un épisode catastrophique. Ces derniers tendent à évoluer avec un temps de décalage au terme duquel l'ensemble de l'hydrosystème est stabilisé et résilient dans un environnement

[22] Roche P.-A., Billen G., Bravard J.-P., Décamps H., Pennequin D., Vindimian E., Wasson J.-G., 2005 : Les enjeux de recherche liés à la directive-cadre européenne sur l'eau. Coll. Sur l'Eau de l'Académie des Sciences, *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 337, n° 1-2, p. 243-67.

peu réactif, du fait des caractères conférés au système hydrologique et sédimentaire par le dense couvert boisé (Fig. 4).

Cette dynamique montre qu'il serait souhaitable d'intégrer les situations de déséquilibre dynamique dans la caractérisation des états de référence. Le début et la fin d'une phase de métamorphose imposent au système fluvial des cours d'eau à forte énergie une situation de déséquilibre dynamique qui se prolonge sur plusieurs décennies et qui souvent est d'une longueur telle qu'elle peut se superposer au rythme de la variabilité naturelle des conditions climatiques. Les cours d'eau européens de montagne, sensibles aux ajustements naturels, sont quasiment tous en situation de déséquilibre dynamique du fait de changements dans l'affectation des sols, sans même faire référence aux impacts de grands aménagements hydrauliques ; on ne sait quand l'équilibre sera atteint après l'épuisement des stocks sédimentaires de fond de vallée. Il convient donc de prendre en compte ces héritages du passé. Il s'agit des stocks sédimentaires hérités de phases d'ajustement à l'excès relatif de charge de fond en provenance des versants ; l'ajustement à de nouvelles conditions de débit et de transport solide a déjà pris plus d'un siècle et n'est pas terminé ; le déstockage sédimentaire, qui commence par l'amont du système torrentiel, va donc se poursuivre, notamment sur les branches principales qui ne sont pas encore réellement touchées par l'érosion progressive. On retrouve dans le cas qui vient d'être exposé la question de l'état de référence dans un système fluvial non stabilisé.

La question est tout aussi difficile dans les massifs anciens : certains cours d'eau n'ont plus de charge mobilisable depuis des décennies, voire depuis le milieu du XIXe s., comme le Chassezac dans les Cévennes (Gob et al., 2010).[23]

4.2.2. Les régions de moyenne montagne et plateaux anciens

Dans le contexte de la suppression des seuils, une étude a synthétisé les travaux des géomorphologues de l'Université de Liège réalisés en Ardenne belge depuis trente ans sous la direction de F. Petit (Houbrechts *et al*., 2015).[24] Des mesures ont pu être effectuées à des échelles de temps multiples. Les principaux résultats, obtenus sur plusieurs rivières de taille intermédiaire, dans des conditions de débit et pente variées (2,3 à 8,8 $m.km^{-1}$) et à l'aide d'un grand nombre de mesures, mettent en évidence le rôle de l'énergie disponible dans le système fluvial (Brookes, 1987 ; Schmitt *et al*., 2001).[25] Ils sont les suivants :

L'essentiel de la charge en transit vient aujourd'hui de l'érosion de la nappe de fond caillouteuse que l'on rencontre dans toute l'Europe, y compris dans les régions de bas

[23] Gob F., Bravard J.-P., Petit F., 2010 : The influence of sediment size, relative grain size ands channel slope on initiation of sediment motion in boulder bed rivers. A lichenometric study. *Earth Surface and Landforms*, 35, p. 1535-47.

[24] Houbrechts G., Levecq Y., Peeters A., Hallot E., Van Campenhout J., Denis A.-C., Petit F., 2015: Evaluation of long-term bedload virtual velocity in gravel-bed rivers (Ardenne, Belgium), *Geomorphology*, http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.012

[25] Brookes, A., 1987. River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales. *Earth Surf. Process. Landforms* 12, 4, p. 337–351. Schmitt L., Maire G., Humbert J. : 2001, La puissance fluviale : définition, intérêt et limites pour une typologie hydro-géomorphologique des rivières. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 45 (2), p. 201-224.

plateaux sédimentaires, et aussi du remaniement de stocks de cailloutis périglaciaires (colluvions en pied de versant, basse terrasses). L'érosion latérale est faible (en moyenne de l'ordre de 1 à 10 cm/an maximum). Dans les rivières ardennaises, le débit de mobilisation est nettement inférieur au débit à plein bord (il se présente le plus souvent avec une période de retour de l'ordre de 0,5 an et il agit schématiquement entre 5 et 10 jours par an). Sur l'Ourthe, les chercheurs constatent que les quantités charriées ne sont finalement pas très importantes puisqu'elles représentent seulement 0,75 t/km^2/an dans la partie amont du bassin et de l'ordre de 0,5 t/km^2/an dans sa partie inférieure (Houbrechts *et al*., 2006).[26]

Les rivières dont la puissance spécifique[27] ne dépasse pas 15 W/m^{-2} se caractérisent généralement par des chenaux inactifs et des méandres libres relativement figés. Les méandres actifs non confinés nécessitent des puissances au moins supérieures à 30 W/m^{-2}, ce qui rejoint assez bien les conclusions de Brookes (1988) qui observait que les rivières dont la puissance est inférieure à 35 W/m^{-2} sont incapables d'un auto-ajustement en réponse à des aménagements ou à des contraintes extérieures.[28] En Ardenne, l'énergie spécifique nécessaire à la mise en mouvement des particules du lit augmente logiquement avec leur taille et se situe dans la fourchette de 20 W.m^{-2} pour les plus petites à 200 W.m^{-2} pour les plus grosses. L'armure du lit est rompue pour des évènements voisins de la crue décennale (Petit *et al*., 2007 ; Houbrechts *et al*., 2015).

La distance moyenne parcourue par les particules de taille proche du D50 (médiane) est très bien corrélée à la puissance spécifique au débit de plein bord (soit au débit dominant). Les valeurs obtenues sur 5 à 7 ans de mesure sont comprises entre 2 m.an^{-1} pour des débits spécifiques proches de 30 W.m^{-2} (sur la Rulles) et 80 m.an^{-1} pour des débits spécifiques proches de 160 W.m^{-2} (sur la Hoëgne)[29]. Cette période suffit pour avoir des résultats fiables mais elle est tributaire de son hydraulicité. Des calculs effectués sur la longue durée à l'aide de traceurs introduits dans les rivières au Moyen Âge (des scories ferrugineuses produite par des forges hydrauliques), montrent une vitesse moyenne de transfert des particules de 3 à 4 km/siècle.

Au nombre des enseignements extrapolables de l'Ardenne belge aux rivières françaises, retenons ceci :

---

[26] Petit F., Hallot E., Houbrechts G., Levecq Y., Mols J., Peeters A., Van Campenhout J. : La typologie et les caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau wallons. In *La Gestion physique des cours d'eau: bilan d'une décennie d'ingénierie écologique*, Colloque de Namur, p. 7-16 ; Houbrechts G., Hallot E., Gob F., Mols J., Defechereux O., Petit F. : 2006 : Fréquence et importance du charriage dans les rivières du massif ardennais, *Géographie physique et Quaternaire*, 60, 3, p. 247-258.

[27] La puissance spécifique est la mesure de l'énergie appliquée en moyenne sur 1 m^2 de fond de rivière. Elle augmente avec la pente et le débit de pleins bords d'une part et la réduction de la largeur d'autre part.

[28] Geoffrey Houbrechts, 13 mai 2018, *in litteris*

[29] Le seuil d'énergie spécifique discriminant les chenaux inactifs et les chenaux actifs (par l'érosion latérale) est compris entre 25 et 35 W.m^{-2} selon plusieurs auteurs. Il est plus bas pour Ferguson avec 15 W.m^{-2} (Ferguson, R.I., 1981 : Channel change and channel forms. In: Lewin, J. (Ed.), *British Rivers*. Allen & Unwin, London, pp. 90–125).

- Les valeurs obtenues sont valables quel que soit le style fluvial du cours d'eau et le régime hydrologique, comme le montre la comparaison avec des travaux similaires réalisés dans d'autres régions du globe; ce point très important car il signifie que l'extrapolation est possible.
- L'existence du transport solide et les volumes transférés dépendent de l'existence des matériaux de fond disponibles. Ils ont été apportés au système fluvial par l'érosion des versants à la fin du Pléistocène puis, localement, par des couplages versants-lits fluviaux lorsque la conjonction de défrichements et de périodes climatiques « dures » (tel le Petit Âge Glaciaire) a pu localement réactiver le couplage.
- D'origine périglaciaire (Pléistocène), la nappe a été remaniée - reprise et déposée - par les divagations latérales des cours d'eau. Le revêtement fin de la nappe de fond provient de la charge en suspension, elle-même dérivant de l'érosion de formations superficielle fines (lœss, sable éolien) et de sols érodés par les pratiques agricoles depuis le Moyen Âge.
- Ensuite les études menées dans l'Ardenne suggèrent qu'en dessous d'une puissance fluviale spécifique de 20 $W.m^{-2}$, peut-être davantage, les particules grossières composant le fond des rivières ne sont pas mobilisées de manière significative par les crues.
- Ce constat laisse entendre que les rivières de plaine, dont l'énergie est encore plus faible, ont une charge réduite et que, par conséquent, escompter une mobilisation significative de la charge de fond par la suppression des seuils est illusoire à moins que des terrains de plaine alluviale soient disponibles pour que l'érosion latérale s'y exerce pleinement.

4.2.3. Les régions de bas plateaux à vallée alluviale

Des travaux universitaires, en partie motivés par la problématique de la suppression des seuils, sont réalisés depuis quelques années et produisent les premières publications. Ils ne bénéficient que rarement de financements en provenance des organismes qui en auraient pourtant le plus besoin. Le Plan Loire a pu financer de premières études avant 2013.

Les rivières drainant des bas plateaux au sein de vallées alluviales assez larges pour permettre leur divagation latérale ont une pente inférieure ou égale à 1m/km et des seuils d'une hauteur n'excédant pas 2 m.

La vallée de l'Huisne, un affluent de la Sarthe confluant au Mans, possède des aménagements très anciens, en partie médiévaux, à l'aval de Nogent-le-Rotrou ; ils valorisent une pente moyenne de 0,7 m/km. Dans l'état actuel de l'aménagement de cette rivière sinueuse, la morphodynamique est discrète. Les valeurs de puissance spécifique sont faibles dans les biefs situés à l'amont des seuils, en particulier à leur amont immédiat (elles sont inférieures ou égales à 20 $W.m^{-2}$ pour le débit de plein bord) ; les puissances sont plus fortes à l'aval immédiat des seuils qui perturbent l'écoulement sur près de la moitié du parcours étudié. La pente reconstituée dans l'hypothèse d'un arasement complet donnerait des valeurs un peu plus homogènes et comprises entre 10 et 20 $W.m^{-2}$. La dynamique se traduirait concrètement pas une redistribution des matériaux dans le chenal et par des processus érosifs limités (Corbonnois *et al.*, 2013).[30]

[30] Corbonnois J., Rollet A.J., Viel V., Honoré A., 2013 : The European Water Framework Directive, hydraulic structures and bed erosion in the Huisne River (France). In In: Arnaud-Fassetta, G., Masson,

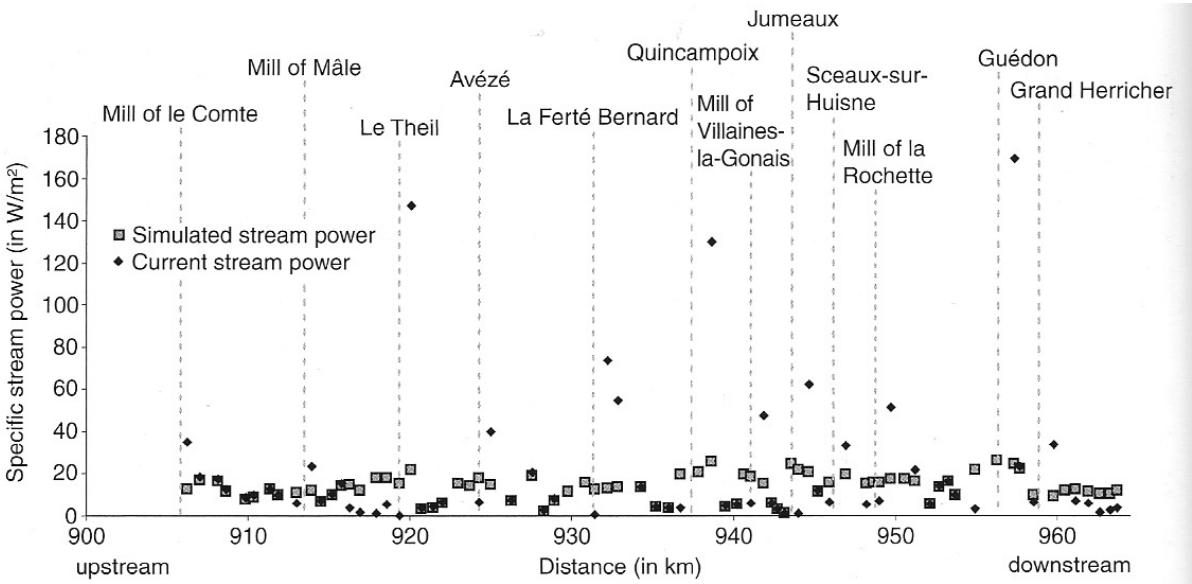

Fig. 5. Specific stream power before and after levelling of dams.

Fig. 5 : La puissance spécifique de l'Huisne sur une distance de 65 km. Petits carrés noirs : puissance à l'amont des seuils ; gros carrés noir et grisés : puissance simulée dans l'hypothèse de l'arasement des seuils. Tiretés verticaux : emplacement des seuils (source : Corbonnois *et al.*, 2013).

Une autre étude a été réalisée en Normandie, à l'ouest de Caen, sur la Seulles et des cours d'eau affluents à faible énergie (Lespez *et al.*, 2015).[31] Un suivi de chenal après démantèlement d'un seuil donne un recul de berge sensible (plus de 1 m/an) pour une valeur de puissance spécifique de 10 à 15 $W.m^{-2}$ mais l'article regrette l'absence d'information sur les effets cumulatifs des arasements.

Une autre étude géographiquement proche, réalisée dans la vallée du Loir, un sous-affluent armoricain de la Loire, précise l'hypothèse d'un seuil de puissance minimal dans les régions de plaine ou de faible relief (Corbonnois *et al.*, 2016).[32] Ce cours d'eau dispose d'une puissance spécifique moyenne de 5 $W.m^{-2}$, ce qui ne permet en principe que le transport des sables et limons dans les conditions hydrauliques moyennes. Or des formes d'érosion localisées et actives jalonnent de manière discontinue le cours de la rivière et assurent la mobilisation de particules issues de la couverture fine de la nappe alluviale de fond ; ces érosions de berge ne sont pas suffisantes pour créer des formes construites dans le chenal fluvial parce que les graviers et les galets du fond ne sont pas mobilisés dans les conditions hydroclimatiques actuelles. L'étude, très prudente car les mesures devront être multipliées,

E., Reynard, E. (Eds.), *European Continental Hydrosystems Under Changing Water Policy*. Friedrich PfeilVerlag, München, pp. 137-148.

[31] Lespez L., Viel V., Rollet A.J., Delahaye D., 2015 : The anthropogenic nature of present-day low energy rivers in western France and implications for current restoration projects. *Geomorphology* 251, p.64–76.

[32] Corbonnois J., Bonnefond M., Chardon V., Rodrigues S., Jugé Ph., Cali J., Verdun J., Simonetto E., Tchekpo W., Labergerie E., Faucheux G., 2016 : Détermination des conditions de la dynamique fluviale d'une rivière aménagée de basse énergie, à partir de secteurs du Loir (Bassin de la Loire aval), *Géomorphologie*, 22, 4, p. 345-361.

montre que les formes d'érosion latérale sont liées aux perturbations de l'écoulement de crue par les ouvrages liés aux moulins. En d'autres termes, « le fonctionnement du Loir répond ainsi à des règles générales révélées par les longs tronçons de cours d'eau, où la stabilité ne peut être remise en cause que par des évènements catastrophiques ». Pour la question qui nous intéresse ici, les auteurs concluent ainsi : « il est probable que l'arasement des barrages envisagé par l'application de la loi sur l'eau ne change pas fondamentalement les conditions de la morphogenèse compte tenu de la faiblesse des pentes. Les changements dans les faciès d'écoulement liés à l'abaissement de la ligne d'eau ainsi que les caractéristiques de la morphologie du fond n'auront probablement qu'un impact modéré... Dans tous les cas, la dynamique fluviale est sous le contrôle de l'énergie, insuffisante pour mobiliser les matériaux grossiers ».

Des travaux ont été réalisés sur le Cher, dans son tronçon en plaine alluviale (Dépret *et al*., 2016).[33] Le débit « efficace » (celui qui assure le maximum de transport solide), se produit fréquemment sur le Cher alluvial puisqu'il s'agit du débit de période de retour comprise entre 1,1 et 1,5 ans sur les trois méandres étudiés ; les crues de forte magnitude, débordantes et plus rares ont une moindre efficacité ; un facteur important est le faible ratio existant entre le débit de forte crue et le débit de plein bord. Les valeurs de puissance spécifique à l'échelle des trois tronçons sont comprises entre 6,5 et 33 $W.m^{-2}$; le chenal à hauteur de deux méandres a une énergie spécifique voisine de 12 $W.m^{-2}$ pour le débit de plein bord. L'intensité de l'érosion latérale, réelle même pour des débits de crue assez réduits, est contrôlée par le nombre de jours annuels de crue (débits de plein bord de période de retour 1,2 ans), par des matériaux de berge peu cohésifs, par une végétation arborée protégeant mal les berges, ainsi que par l'incision du lit qui déstabiliserait ces dernières même si elle est assez faible. La capacité de transfert de la charge de fond dans le chenal est un autre élément important (le D50 des particules du lit est voisin de 50-60 mm).

Selon les auteurs, ces résultats démontrent le bon potentiel de cette rivière dans son ensemble vis-à-vis de la restauration « autogénique » (assurée par la seule force de la rivière) : « le Cher est un bonne illustration pour les nombreuses rivières de basse énergie traversant les plateaux d'Europe de l'Ouest où les rivières ont été profondément modifiées par des siècles d'action humaine. Dans le contexte de la Directive européenne sur l'eau, où l'hydromorphologie joue un rôle central, ces résultats apparaissent tout à fait encourageants pour ces rivières. Ils montrent que les ruptures de leur dynamique morpho-sédimentaire ne sont pas nécessairement irréversibles ».

Ces exemples - encore trop rares pour que des généralisations soient possibles, du moins fiables – montrent que le seuil minimum d'énergie permettant l'érosion latérale et le transport de la charge de fond dépend de variables locales dont le poids relatif n'est pas encore maîtrisé. Dans le cas du Loir, une énergie moyenne de 5 $W.m^{-2}$ permet des encoches d'érosion à l'aval de seuils concentrant le flux, mais sans transport de charge de fond ni capacité de restauration autogénique dans l'hypothèse de travaux d'effacement d'obstacles. Sur le Cher, dans des conditions qui sont localement très favorables, l'érosion latérale de concavité débute à partir de 7 $W.m^{-2}$ mais il semble prudent de retenir des valeurs plus proches des 20 $W.m^{-2}$.

[33] Dépret T., Gautier E., Hooke J., Grancher D., Virmoux C., Brunstein D., 2016 : Hydrological controls on the morphogenesis of low-energy meanders (Cher River, France). *Journal of Hydrology*, 531, p. 877–891.

On proposera de retenir ceci : le seuil de 5 $W.m^{-2}$ est nettement trop faible pour la restauration autogénique du Loir et le rétablissement de la continuité sédimentaire (les deux notions sont cependant un peu différentes). Le seuil de 7 $W.m^{-2}$, mesuré sur le Cher, est trop bas pour être extrapolable. La valeur de 20+/-10 $W.m^{-2}$ pourrait être un compromis acceptable sur un nombre encore restreint de méandres.

Conclusion

L'énergie des rivières exprimée en termes de puissance spécifique ($W.m^{-2}$) semble bien être le critère majeur assurant le succès ou l'échec des arasements. Un seuil de puissance voisin de 10 $W.m^{-2}$, modulé en fonction des conditions locales, conditionne l'érosion de berge, l'entrée de sédiments frais dans les chenaux et en assure une partie du transport (en fonction des classes de taille des particules).

Ce seuil « limite les possibilités de restauration passive » des rivières aménagées avec des seuils de moulins et *a contrario* pointe la nécessité d'engager des frais de restauration active ; les opérations engagées devraient se limiter à ce qui est indispensable et à ce qui est durable dans les environnements ruraux (Lespez *et al*., 2015, *op. cit.*).

4.3. Seuils de moulins : quelles relations avec les sédiments grossiers ?

Une question importante est de savoir dans quelle mesure les seuils de moulins bloquent réellement la charge sédimentaire. Elle peut être abordée sous plusieurs angles.

4.3.1. Le moulin doit être placé dans une histoire sédimentaire longue

Beaucoup de moulins ont été construits au Moyen Âge dans une période de faible érosion et de faible transport solide (en cause : le climat plutôt sec et une hydrologie peu abondante). Dans certaines régions françaises, le changement climatique enregistré à partir du XIVe et jusqu'à la fin du XIXe s. a impacté les moulins existants (dans les Alpes, certains ont même été enfouis sous les sédiments) ; il les a obligés à s'adapter aux flux solides. Dans les mêmes régions, les usines construites au XIXe s. l'ont été dans un contexte de fort transport solide.

Examinons par exemple le cas d'un moulin de la haute Ardèche à l'amont d'Aubenas (fig. 6).[34] Sur la figure 6, un seuil piège la charge solide de telle sorte que les matériaux sont absents à l'aval. L'exemple laisse entendre que la continuité sédimentaire est rompue par le seuil. Vérification faite, il s'agit du seuil des Fabriques à Neyrac-le Bas (07). Construit au milieu du XIXe siècle pour alimenter un moulinage, il laisse bien entendu passer la charge de fond et l'absence de matériaux à l'aval est simplement due à leur évacuation en fin de crue du fait de la configuration du lit. Celui-ci est rocheux et dispose d'une géométrie particulière (un goulet de roches métamorphiques dures est la raison de l'implantation du seuil). C'est en réalité l'excès d'énergie en crue qui « nettoie » le chenal. Le seuil a bien bloqué une partie limitée de la charge grossière mais pas le transit. Les dépôts à l'amont du seuil diversifient les formes dans la gorge de l'Ardèche et permettent l'existence d'une végétation demeurant à des stades peu évolués du fait du balayage exercé par les crues.

[34] ONEMA 2010 : *Pourquoi rétablir la continuité écologique des cours d'eau*. Plaquette d'information, 28 p.

Fig. 6 : Un exemple de blocage de la charge solide retenu par l'ONEMA (2010).

Le cas échéant, un vannage permettait dans le passé d'évacuer les sédiments déposés dans la retenue pour maintenir la capacité de stockage de l'eau et actionner la roue une partie de la journée. D'autres dispositifs moins élaborés permettaient le franchissement de la charge par déversement au dessus le seuil.[35]

Lorsque la charge est significative (érosion latérale de berges productrice), le seuil est franchi et il est dit « transparent ». C'est le cas de l'Armançon (Malavoi, 2007), rivière qui érode activement ses berges dans certains tronçons mais le flux solide grossier passe par les seuils des moulins. [36]

---

[35] *En cas de crue, les vannages des moulins sont ouverts et laissent passer les sédiments : argiles en suspension, limons, sables et graviers dans les crues annuelles, galets et blocs dans les crues décennales, centennales ou d'orage. Les fines accumulées en amont des ouvrages sont régulièrement « ramonées » lors de chaque épisode de crue débordante ou non. Dans le cas des biefs où les vannes ne sont plus actionnées, le remplissage par les matériaux fins est réalisé en quelques années (environ 180 m3 dans le bief du Moulin des Grands Prés), le profil d'équilibre s'établit alors à partir du niveau de base constitué par le sommet de l'ouvrage et non plus celui de la vanne de vidange* (Alain Desbrosse, ingénieur écologue, *in litteris*).

[36] Malavoi J.R. 2007 : *Etude de la dynamique fluviale et des potentialités de régulation hydrologique de l'Armançon*. Rapport HYDRATEC pour le SIRTAVA.

4.3.2. *Les seuils sont fréquemment neutres dans la problématique des flux solides.*

Un seuil ancien ne peut pas bloquer la charge sur plusieurs décennies ou plusieurs siècles étant donnés la petite taille de la retenue et l'importance du flux descendant de l'amont. La confusion entre présence d'un seuil et blocage de la charge de fond provient d'une assimilation trop rapide de l'impact des seuils aux effets des barrages. La confusion peut aussi être due à la nature des matériaux du fond (s'ils sont grossiers et parfois non mobilisables) qui peut à tort laisser penser à une charge en transit (les matériaux du fond sont souvent hérités d'époques antérieures). Il est vrai que la rétention des matériaux existe en arrière des seuils, mais il est important de savoir au cas par cas quelle est leur nature et quelle est leur part approximative dans le bilan sédimentaire sur la longue durée de l'aménagement. L'absence de vannage n'est pas forcément pénalisant si l'on prend en cause le temps. Les retenues peuvent avoir été comblées mais le flux peut être faible à l'échelle de deux siècles par exemple.

On peut aussi affirmer que loin d'être des obstacles à supprimer, dans certains cas des seuils retiennent fort heureusement des sédiments. Lorsqu'ils sont détruits par des crues ou par des travaux d'arasement, les sédiments sont remis en mouvement, ce qui permet d'anticiper un déficit à venir dans le chenal et donc son creusement. Dans les cas des rivières à forte pente, sans entrées sédimentaires, le seuil est un facteur de rétention et de diversification des habitats (les frayères sont souvent dans ces sites). La diversité des situations est trop grande, même à l'échelle de petits territoires, pour être ignorée.

Mais d'un autre côté, lorsque la charge ne passe pas, n'est-ce pas parce qu'elle est nulle ou quasiment ? La charge peut être nulle dans un système fluvial parce que les entrées sédimentaires dans le système ne se font pas (faible énergie du relief) ou ne se sont font plus (énergie réduite et couverture végétale protectrice). Il convient à nouveau de prendre en compte la notion de temps long qui intègre la possibilité de variations climatiques. En d'autres termes et selon les lieux, il convient de ne pas confondre la présence de matériaux sur le fond du chenal et l'existence d'une charge en transit.

Dufour *et al.* (2015) présentent l'exemple du Gapeau, fleuve côtier du Var.[37] Contrairement à l'idée reçue selon laquelle ce seuil bloquerait la charge et serait responsable de l'érosion côtière, les auteurs ont démontré qu'il ne retient pas les sédiments depuis sa création à la fin du 19e s. En réalité les sédiments franchissent le seuil qui est dit « transparent » ; le recul de la côte à Hyères est dû à la baisse des entrées dans le système fluvial amont et à un bilan sédimentaire déséquilibré depuis plusieurs décennies. L'effacement du seuil ne restaurerait donc pas une continuité capable de compenser la perte de sédiments sur la côte malgré la libération du volume stocké qui est relativement limité.

4.4. Prendre en compte les impacts complexes sur l'environnement de l'arasement de seuils de moulins

Les impacts négatifs des seuils sont multiples et ils ne peuvent être traités à la légère. Il convient de les insérer dans un bilan contradictoire. Citons par exemple :

[37] Dufour S., Rollet A.J., Chapuis, M., Provansal M., Capanni R. 2017 : On the political roles of freshwater science in studying dam and weir removal policies: A critical physical geography approach. *Water Alternatives* 10(3), p.853-869.

- La perte de matériaux du chenal lorsque l'abaissement ou l'arasement du seuil purge une retenue. On enregistre certes une restauration du transit dans la retenue et à son aval mais cette dynamique dure le temps de l'évacuation des matériaux si le flux en provenance de l'amont est réduit. La vitesse du processus est fonction de l'énergie dans le tronçon. On retrouve dans ce cas la problématique du bilan sédimentaire qui doit être réalisé à la bonne échelle. Les matériaux du fond sont utiles au maintien de l'habitat dans le chenal et la question doit tenir compte du spectre sédimentaire.

- La purge des sédiments d'une retenue peut induire l'abaissement de la ligne d'eau et, en lit majeur, celui de la nappe accompagnant la rivière. La ressource en eau peut être localement impactée. Une première conséquence induite est la dégradation des biocénoses adaptées à une nappe haute. En Normandie, Depoilly et Dufour (2015) ont ainsi démontré que la suppression de seuils réduit l'humidité de la plaine, affecte négativement les zones humides et la croissance de la végétation rivulaire.[38] La perte de fonctions d'épuration du lit majeur est une autre conséquence importante sachant qu'une nappe haute a la capacité de dénitrifier les eaux en conditions réductrices.

- Une autre conséquence induite est la perte des zones humides annexes des seuils ; elle est due au rehaussement de la nappe et à l'expansion des eaux de crue. S'y trouve une faune particulière non rhéophile et souvent protégée.

- Enfin l'abaissement du chenal et des lignes d'eau, y compris en crue, a pour effet la réduction des capacités d'écrêtement des crues en lit majeur. Cet effet contredit les mesures soigneusement étudiées par le CEMAGREF puis IRSTEA et la politique prônée par l'Etat dans les années 1990-2000.

Un exemple illustre un complexe d'effets mis en évidence sur l'Yerres aval (Melun *et al*., 2013 ; Melun, 2014)[39]. Le cas de l'abaissement du barrage de Suzanne a des effets qui suggèrent ce que le projet d'effacer l'ensemble des seuils provoquerait:

1) un abaissement de la ligne d'eau de 30 à 80 cm a déjà créé localement une contraction du chenal qui présente des faciès et des habitats plus diversifiés,

2) l'augmentation des puissances spécifiques et de la capacité de transport de la rivière serait proportionnelle au degré de décloisonnement atteint. Ces valeurs passeraient de 3 à 25 $W.m^{-2}$ dans l'hypothèse de la suppression totale des seuils. De fait les valeurs de puissance spécifique dépassent localement le seuil de 35 $W.m^{-2}$, laissant entrevoir des possibilités de réajustement morphologique ; ces dernières peuvent être localement indésirables pour les berges. Une réactivation des processus érosifs (effondrements,

[38] Depoilly D., Dufour S., 2015 : Influence de la suppression des petits barrages sur la végétation riveraine des cours d'eau du Nord-Ouest de la France. *Norois* 237, 4, p. 51-64.

[39] Melun, G., Arnaud-Fassetta, G., Fort, M., Chalaux, E., Delecluse, O., Fourel, S., Guesdon, L., Lucas, E., Nieto, E., 2013 : Hydromorphological impacts of continuity's restoration at the reach scale. Example of the Suzanne reach, tributary of the Yerres River, Seine catchment, France. In: Arnaud-Fassetta, G., Masson, E., Reynard, E. (Eds.), *European Continental Hydrosystems Under Changing Water Policy*. Friedrich PfeilVerlag, München, pp. 125–136.

mouvements gravitaires variés) affecterait les berges limoneuses pour des débits de crue inférieurs au débit de pleins bords.

L'étude de l'Yerres aval démontre que, pour les travaux déjà réalisés, les réajustements hydromorphologiques sont effectifs et permettent localement un retour vers un état de référence pré-cloisonnement. Les possibilités de restauration restent limitées par diverses contraintes : le risque de déconnexion de zones humides et de chenaux secondaires, la déstabilisation du bâti riverain qui peut avoir une valeur patrimoniale, des impacts sur les usages). Autant de crières que les gestionnaires devraient prendre en compte dans le cadre d'une démarche systémique, quitte à adapter les solutions pour réduire les effets indésirables…

Des travaux similaires réalisés à l'étranger peuvent être analysés avec grand profit. L'analyse de petits cours d'eau du massif de Bohème en Autriche, en partie déséquipés, montre qu'il existe bien des bénéfices à court terme (continuité, écoulement, régime thermique et disponibilité en oxygène permettant une réponse rapide de la production primaire et du métabolisme de l'écosystème), mais que l'effet positif ne peut être réellement atteint que si les processus géomorphologiques permettant d'assurer la biodiversité peuvent se rétablir (Peoppl *et al*., 2015)[40]. La restauration d'une mosaïque diversifiée peut prendre des décennies si des structures artificielles persistent dans le chenal. Comme leurs prédécesseurs, les auteurs recommandent une approche holistique de la rivière, prenant en compte l'histoire de l'ingénierie dans le réseau (interventions sur les berges et dans le chenal, existence de seuils et retenues multiples) ; les héritages altèrent la puissance disponible, la dynamique du profil en long et la texture des sédiments du chenal. Cette compréhension est la condition pour que les formes et les sédiments puissent s'ajuster en fonction des héritages et des effets de rétroaction entre le chenal déséquipé et les contraintes anciennes.

4.5. Préconisations pour une gestion apaisée de la complexité

4.5.1. Classer les bassins hydrographiques et les cours d'eau actuels par rapport aux flux de sédiments grossiers

Les mesures prises en faveur de la continuité sédimentaires devraient prioritairement classer les rivières en fonction des critères suivants basés sur les principes des bilans sédimentaires:

- Localisation des entrées sédimentaires dans le système fluvial et estimation des volumes concernés
- Mesure des transits pour des débits de référence
- Tendance du bilan depuis un siècle,
- Perspectives pour les décennies à venir,
- Exemples de seuils retenant réellement des sédiments utiles à l'aval,
- Rôle éventuellement positif des seuils de moulins pour maintenir les matériaux dans le linéaire fluvial (à l'exception des barrages)

---

[40] Peoppl R.E., Keesstra S.D., Hein T., 2016 : The geomorphic legacy of small dams - An Austrian study. *Anthropocene*, 10, p. 43-55.

- Eventuelle prise en considération des effets du changement climatique sur l'hydrologie et la mobilisation des sédiments du lit.

4.5.2. Promouvoir une recherche scientifique critique

Si la recherche se développe dans le champ des sciences humaines sur les aspects territoriaux et sociaux de l'acceptation de l'arasement de seuils (Barraud et Germaine, 2017), en revanche la recherche pratiquée dans le champ du milieu physique reste encore trop limitée. Une des raisons est que les sources de financement sont réduites et que les chercheurs, sauf exceptions notables, sont contraints de se tourner vers d'autres sujets.

Il conviendrait de multiplier :

- La recherche sur les liens existant entre les arasements envisagés et l'espace latéral (berges et plaine alluviale) ou « espace de bon fonctionnement ».[41] Cette intégration des perspectives (le chenal et la plaine alluviale/lit majeur) est nécessaire avant toute décision réfléchie.

- Des recherches fondamentales, c'est-à-dire non finalisées, seules capables de faire avancer des questions dans une perspective scientifique. La question des bilans sédimentaires à plusieurs échelles est la plus importante. Celle des héritages du passé qui pèsent aujourd'hui sur les choix : L. Lespez *et al*. (2015) interrogent la naturalité des rivières normandes. Les défrichements et les seuils anciens ont favorisé les débordements, donc la sédimentation sur la plaine. ils ont contribué à la chenalisation pendant des siècles.[42] Il ne s'agit pas d'étudier la dégradation cumulative des écosystèmes mais celle de systèmes complexes dans lesquels les héritages sédimentaires interagissent avec les processus (le système déstocke depuis un siècle). La restauration naturelle de rivières à faible énergie est à peu près inaccessible ; il n'est pas possible, faute de disposer d'une énergie suffisante d'espérer « travailler avec la rivière ».

- L'analyse scientifique de retours d'expérience devrait être menée dans les règles après des arasements de seuils. La procédure en vigueur est souvent minimale quand elle est demandée. Les suivis doivent avoir une durée suffisante et concerner des éléments diversifiés.

4.5.3. Préconisations en matière de conciliation de politiques en apparence contradictoires

Un des aspects fondamentaux du succès de la gestion à venir sera la capacité des gestionnaires à réussir à donner de la cohérence à des politiques qui, dans l'espace des fonds

---

[41] Stroffek S., Terrier B., 2016 : *Délimiter l'espace de bon fonctionnement des cours d'eau*. Guide technique du SDAGE, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 180 p.

[42] Lespez L., Viel V., Rollet A.J., Delahaye D., 2015: The anthropogenic nature of present-day low energy rivers in western France and implications for current restoration projects, *Geomorphology* 251, p. 64–76.

de vallées, paraissent contradictoires et mènent parfois à des conflits. Le « forcing » fait sur la continuité pose la question de la compatibilité de cette dernière avec d'autres démarches :

La ralentissement dynamique des crues - La suppression des obstacles transversaux abaisse la ligne d'eau pour le débit moyen et réduit plus ou moins le débit des eaux inondantes à la surface du lit majeur (OCE, 2013)[43]. Or des recherches ont été effectuées depuis le milieu du XIXe siècle pour démontrer le bienfait des obstacles dans ce domaine (des seuils, indépendamment des barrages réservoirs ou barrages à pertuis). Des ingénieurs d'état ont encouragé la construction de seuils dans le bassin de la Loire et les Cévennes après la crue de 1856 pour favoriser des débordements dans les hauts bassins et contribuer à réduire les crues. Plus récemment, cette politique a été recommandée par le CEMAGREF à partir de 1992: il s'agit des pratiques du « ralentissement dynamique des crues », les débordements organisés réduisant la vitesse et le volume d'une onde de crue (Oberlin, 1994 ; Desbos, 1997 ; Oberlin & Poulard, 2002 ; CEMAGREF, 2004 ; Degoutte, 2009 ; Poulard *et al*., 2009).[44] Le ralentissement dynamique s'est d'ailleurs trouvé en contradiction avec la politique du MEDD qui dans les années 1990 a financé la lutte contre les inondations au moyen du nettoyage des chenaux ; les encombrements n'étaient-ils pas une forme de version naturaliste du ralentissement dynamique ? Nettoyer les embâcles d'une rivière, c'est aussi supprimer des habitats potentiels (et naturels…), c'est une démarche d'ingénieur.

La production énergétique à partir de ressources renouvelables – Afin de réduire les émissions à effet de serre et la dépendance de la Communauté européenne à l'égard des importations d'énergie, la CE a publié la Directive n° 2009/28/CE du 23 avril 2009 ; celle-ci encourage la production d'hydroélectricité, l'eau étant une ressource renouvelable. Les énergies de ce type devraient en principe représenter 20% de la consommation de la Communauté d'ici à 2020. Différentes formules de production sont possibles et l'accroissement de l'efficacité énergétique des ouvrages existants est recommandé. La politique de continuité écologique et les pressions qui s'exercent en sa faveur s'accommodent mal de la transformation de moulins en microcentrales, même si les techniques adoptées sont censées réduire ou supprimer les dommages occasionnés aux espèces (vis d'Archimède, turbines à larges pales et vitesse lente).

Plans d'eau et écologie - Les plans d'eau aménagés, notamment les étangs retenus par des seuils ou des chaussées, sont considérés de manière négative dans le cadre du rétablissement de la continuité.[45] Leur réhabilitation passe par leur étude en temps qu'écosystèmes lentiques

---

[43] Observatoire de la Continuité Ecologique, 2013 : *Crues, inondations, étiages. Pour une évaluation du risque lié à la modification des obstacles à l'écoulement*. Note de synthèse, 9 p.

[44] Oberlin G., 1994 : Contribution à une gestion intégrée du patrimoine des eaux continentales par une protection raisonnée et négociée contre les inondations. *Comptes-Rendus CADAS*, Paris, *Académie des Sciences et Conseil Economique et Social*, Paris, p. 108-116 ; Desbos E., 1997 : Le concept de ralentissement dynamique en gestion intégrée des eaux. In Oberlin G., Gilard O., Sauquet E. : FRIEND Projects H-5-5 & 1.1, 3rd report, CEMAGREF Ed., p. 373-380 ; CEMAGREF, 2004 : Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations. Guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages. 128 p. ; Degoutte G., 2009 : Il est temps d'accélérer le ralentissement dynamique des crues. Ingénierie n° sp., p. 3-4. Poulard C., Chastan B., Royet P., Degoutte G., grelot F., Erdlenbruch K., Nédélec Y., 2009 : Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandation. Ingénierie n° sp., p. 5-24.

[45] OCE, Comment dépasser les mauvaises pratiques actuelles en destruction des étangs et plans d'eau ? 17/12/2017. http:// continuité-ecologique.fr/

complexes ou « limnosystèmes » (Touchart et Bartout, 2018)[46]. De nature géographique, le limnosystème valorise des biocénoses à gradient vertical du cycle biosynthèse-biodégradation ; les biocénoses des étangs contrastent avec les biocénoses des milieux lotiques à gradient longitudinal. Eléments de nature lentique, les étangs (tout comme les lacs) sont considérés comme étrangers au système fluvial *stricto sensu* et à la continuité érigée en principe théorique. Que faire par exemple du Lac Léman dans le continuum rhodanien ? Les étangs sont cependant une composante pleine et entière des hydrosystèmes, dotée de vertus propres en matière écologique et porteuse de biodiversité. Touchart et Bartout montrent qu'ils interagissent avec les écosystèmes lotiques d'amont et d'aval ; et en tant qu'isolats favorisant l'endémisme, ils interagissent avec l'ensemble du réseau hydrographique. Les étangs sont aussi un type d'anthroposystème riche, diversifié et porteur d'une histoire (l'archétype en est le système des étangs de la Dombes dont on imagine mal la remise en question).

Conclusion

Les opérations en cours d'abaissement et d'effacement des seuils construits sur les rivières de notre territoire s'inscrivent dans l'histoire longue de l'environnement fluvial. Pas seulement l'environnement du site à déséquiper, mais surtout celui du bassin : histoire de l'occupation humaine des sols faite de conquêtes et de déprises, histoire du climat qui a interagi avec l'histoire du paysage construit, rôle des grands équipements dans le bassin, aménagements de toute nature qui se sont succédé sur les rives du réseau hydrographique et dans les chenaux. Histoire des connexions longitudinales et transversales, dynamique de l'énergie, histoire des pollutions, etc. Chaque sous bassin devrait être considéré comme une entité originale (même s'il existe en principe des types régionaux) méritant d'être traitée dans un cadre conceptuel holistique. Certes on ne peut tout faire, mais le simple fait de concevoir le bassin versant comme un système complexe devrait précéder la réalisation de travaux. La continuité amont-aval est un principe bien trop simplifié dans sa mise en œuvre actuelle ; elle devrait faire l'objet de réflexions plus approfondies alors que les projets de déséquipement des rivières sont massifs. Il est fort probable qu'à ce rythme et dans l'état d'incertitude que connaît l'ingénierie des rivières, cette politique fera l'objet de critiques fondées et très argumentées dans un futur proche. Il est temps de la reconsidérer et de l'adapter aux réalités.

Jean-Paul Bravard, 21/05/2018

[46] Touchart L., Bartout P., 2018 : Le limnosystème est-il un concept géographique ? *Annales de Géographie*, 719, p. 29-58.