

POURQUOI RESTAURER ?

- La dynamique fluviale, à l'origine de la biodiversité et du bon état écologique
- De la qualité des milieux aquatiques dépendent de nombreux services rendus à la société
- L'intérêt et l'importance d'une hydromorphologie non perturbée
- L'altération de l'hydromorphologie d'un cours d'eau à l'origine de dysfonctionnements

La dynamique fluviale, à l'origine de la biodiversité et du bon état écologique

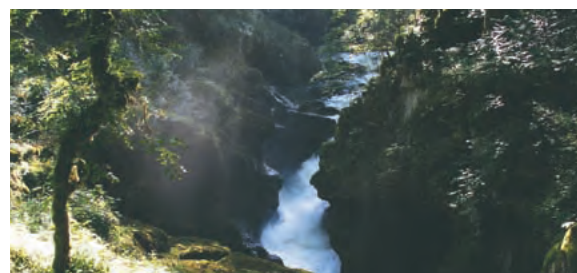
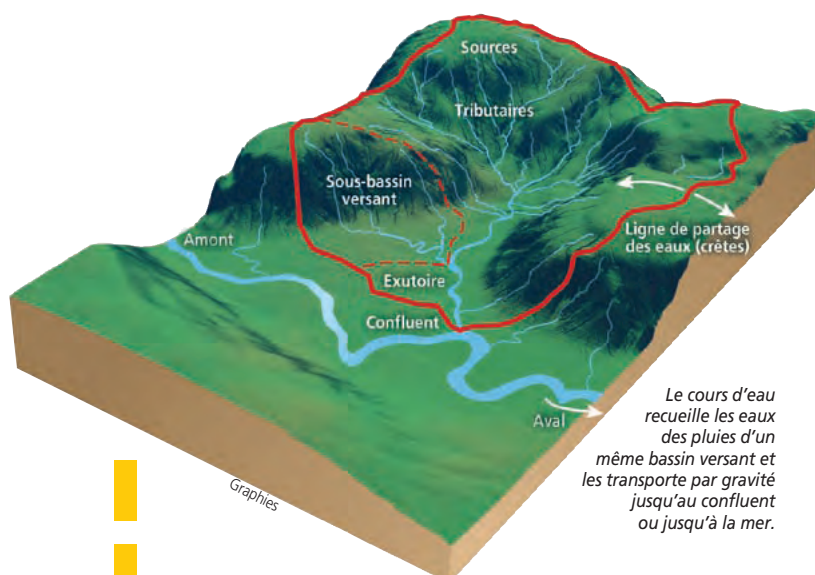
L'essentiel...

- Les rivières sont des milieux hétérogènes, dynamiques et mobiles dans l'espace et dans le temps.
- Le bon fonctionnement du cours d'eau est à la base des services rendus par les écosystèmes : régulation des inondations, fertilisation des plaines alluviales, biodiversité, etc.
- Au niveau des habitats, plus l'hétérogénéité est grande dans l'espace et dans le temps, plus la diversité biologique est grande, et plus la résistance spontanée aux modifications et aux agressions, aussi appelée « résilience », est importante.
- Le respect de la dynamique du cours d'eau contribue à l'atteinte du bon état écologique requis par la directive cadre sur l'eau.

En parcourant un cours d'eau de l'amont vers l'aval, au fil des saisons ou à plusieurs années d'intervalle, on observe une modification du paysage et des milieux associés. S'expliquant par des phénomènes physiques et biologiques, les évolutions de la forme des rivières et de leurs habitats sont appelées « dynamique fluviale ». La compréhension de la dynamique fluviale est essentielle pour préserver ces phénomènes qui sont un des moteurs de la biodiversité de l'hydrosystème.

La rivière, un système physique énergétique

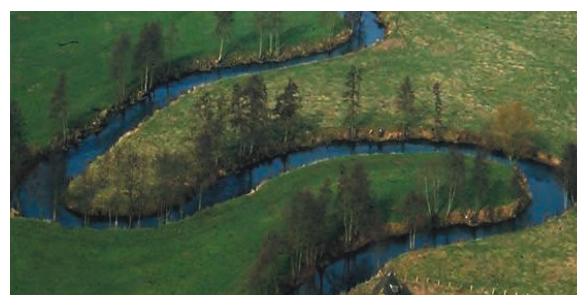
Un cours d'eau est un système qui recueille et transporte vers l'aval, sous l'effet de la gravité, les eaux des pluies et des sources d'un même bassin versant. La pente et le débit font un système énergétique. La grande diversité morphologique des rivières n'est nullement le fruit du hasard. Elle dépend du climat, de la géologie et du relief.



Corinne Forst - Onema



Sébastien Marrie - Onema



Amaud Richard - Onema



Corinne Forst - Onema

Exemples de morphologie de cours d'eau, des sources vers la mer. De haut en bas : l'Ain (Jura) rivière de tête de bassin à lit en gorge; la Hulle (Ardenne) rivière de zone intermédiaire à lit sinueux; la Touques (Calvados) rivière de plaine à lit méandriforme; la Drôme (Drôme) rivière de plaine à lit en tresse.

La forme des rivières n'est pas figée, elle évolue dans l'espace et dans le temps. Les précipitations (conditionnées par le climat), la nature géologique du substrat et la pente (dépendant du relief) sont notamment à l'origine des ajustements morphologiques du cours d'eau. La combinaison de ces trois paramètres régit la puissance spécifique du cours d'eau et caractérise sa dynamique¹.

■ Un système contrôlé par les débits liquides et solides

Tout cours d'eau peu altéré érode, transporte et dépose les matériaux solides provenant des parties amont du bassin et de ses berges soumises aux processus d'érosion latérale.

Les processus d'érosion/dépôt, sous l'effet du débit et de la pente, contribuent à donner au lit mineur sa géométrie en long et en travers ainsi que sa forme en plan (nommée *style fluvial*). Ainsi, en fonction de la quantité de matériaux transportés, de la nature plus ou moins cohésive des berges et de la puissance du cours d'eau, on aura un lit à méandres, un lit en tresses, etc.

Le débit liquide (Q), qui varie au gré des saisons et des précipitations, et le débit solide (Qs), constitué de matériaux minéraux fins et grossiers, sont à l'origine des processus d'érosion/dépôt. Ils contribuent aux ajustements morphologiques du cours d'eau.

Un fonctionnement en équilibre dynamique se caractérise par une oscillation régulière entre érosion et dépôt. Ce concept est schématisé par la balance de Lane [voir ci-contre].

■ Des zones préférentielles d'érosion et de dépôts

On observe sur tous les cours d'eau des zones préférentielles d'érosion et de dépôt.

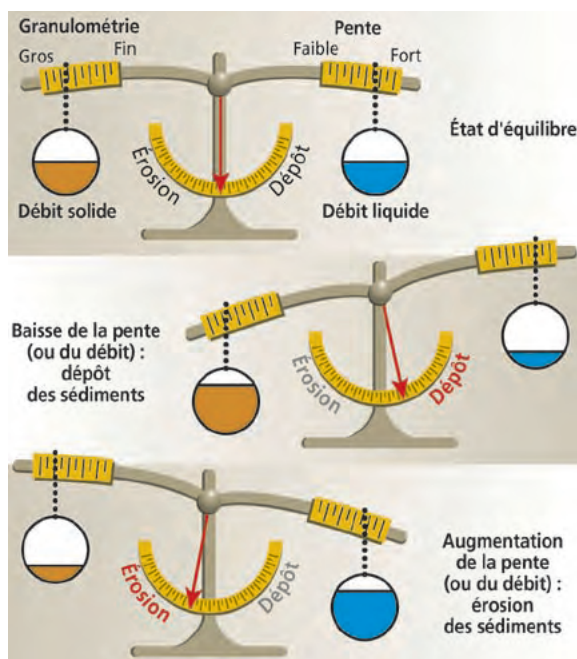
Dans les coudes des cours d'eau sinueux ou méandri-formes, la rive extérieure (dite *concave*) est une zone préférentielle d'érosion sous l'effet de la force centrifuge, tandis que la rive intérieure (dite *convexe*) est une zone préférentielle de dépôts de matériaux.



Henri Carmié - Onema

1 : berge extérieure, zone préférentielle d'érosion.
2 : berge intérieure, zone préférentielle de dépôt.

1 - La puissance spécifique du cours d'eau se traduit par le produit de la pente du cours d'eau par le débit.



Graphies

La balance de Lane (d'après E. W. Lane, et W. Borland) illustre le principe d'équilibre dynamique de la rivière. Un cours d'eau, présentant un fort débit liquide et/ou une forte pente, se charge en un point précis en matériaux solides. Quand le débit liquide baisse et/ou la pente diminue, le cours d'eau perd de l'énergie et dépose les matériaux transportés jusque-là. Les éléments fins se déposent pour un débit plus faible que les éléments grossiers. Le profil en long de la rivière est stable lorsqu'il existe un équilibre entre les sédiments qui partent et ceux qui arrivent.

Longitudinalement, les dépôts s'effectuent dans les ruptures de pente et aux endroits où le lit du cours d'eau est élargi. Les dépôts les plus grossiers forment des faciès d'écoulement appelés *radiers* (zones courantes et peu profondes).



Corinne Forst - Onema



Thierry Clauss - Onema



Arnaud Richard - Onema

Séquence répétée de radiers sur trois cours d'eau de différentes largeurs : l'Allier (Puy-de-Dôme), largeur 30 mètres ; le Drugeon (Doubs), largeur 3 m et le Lambron (Calvados), largeur 1,5 m.

Des zones de radiers et de mouilles (zones lentes et profondes situées dans les concavités) se succèdent en alternance sur la plupart des cours d'eau sinueux ou méandriformes.

Les protections de berge (enrochements, palplanches, etc.) empêchent les cours d'eau qui en ont la capacité de se recharger en matériaux. L'énergie des écoulements ne peut alors plus se dissiper par le transport de la charge de fond. Elle est reportée à l'aval, aggravant les phénomènes d'érosions sur le fond du lit ou sur les berges.

Les berges vives et la ripisylve (boisement le long d'un cours d'eau) participent à l'équilibre morphodynamique du cours d'eau : les berges de nature peu cohésive permettent la recharge sédimentaire tandis que la ripisylve assure leur protection contre les érosions excessives.

■ Un lit mineur et un lit majeur façonnés par les crues

Une crue est une augmentation plus ou moins brutale du débit d'un cours d'eau, qui se traduit généralement par une augmentation très visible du niveau d'eau. La crue est caractérisée par sa période de récurrence (ou période de retour). Par exemple, la crue biennale $Q_{2\text{ans}}$ a une chance sur deux de se produire dans l'année et la crue centennale $Q_{100\text{ans}}$ a une chance sur cent de se produire dans l'année.

Les crues morphogènes modèlent le lit de la rivière. Si les fortes crues ($Q_{50\text{ans}}$ ou plus rares) modifient fortement la morphologie du lit, ce sont cependant les crues fréquentes moins fortes (un à trois ans) qui modèlent la géométrie moyenne ou « d'équilibre », en long, en travers et en plan du cours d'eau. Les débits de ces crues correspondent sensiblement au débit de plein bord dans un cours d'eau ayant un fonctionnement équilibré. Ce débit permet une mise en mouvement régulière et efficace des matériaux solides grossiers (la charge de fond), contribuant ainsi à la régénération des milieux alluviaux en lit mineur (fond du lit et bancs alluviaux exondés une partie de l'année).



Cours d'eau au débit de plein bord ou débit de crue morphogène.

Corinne Forêt - Onema



David Monnier - Onema

Cours d'eau en crue débordante. La limite du lit mineur est marquée par la ripisylve.

Les crues supérieures au débit de plein bord débordent dans le lit majeur et participent au bon fonctionnement des écosystèmes de la plaine alluviale. Elles contribuent à l'alimentation en eau des annexes hydrauliques, à la reconstitution des réserves d'eau (recharge de la nappe phréatique), à l'épuration de l'eau et à l'apport de matériaux fins et d'éléments fertiles dans la plaine alluviale. Cette dernière joue un rôle important en stockant les eaux de crues, réduisant ainsi le débit maximum de crue en aval.

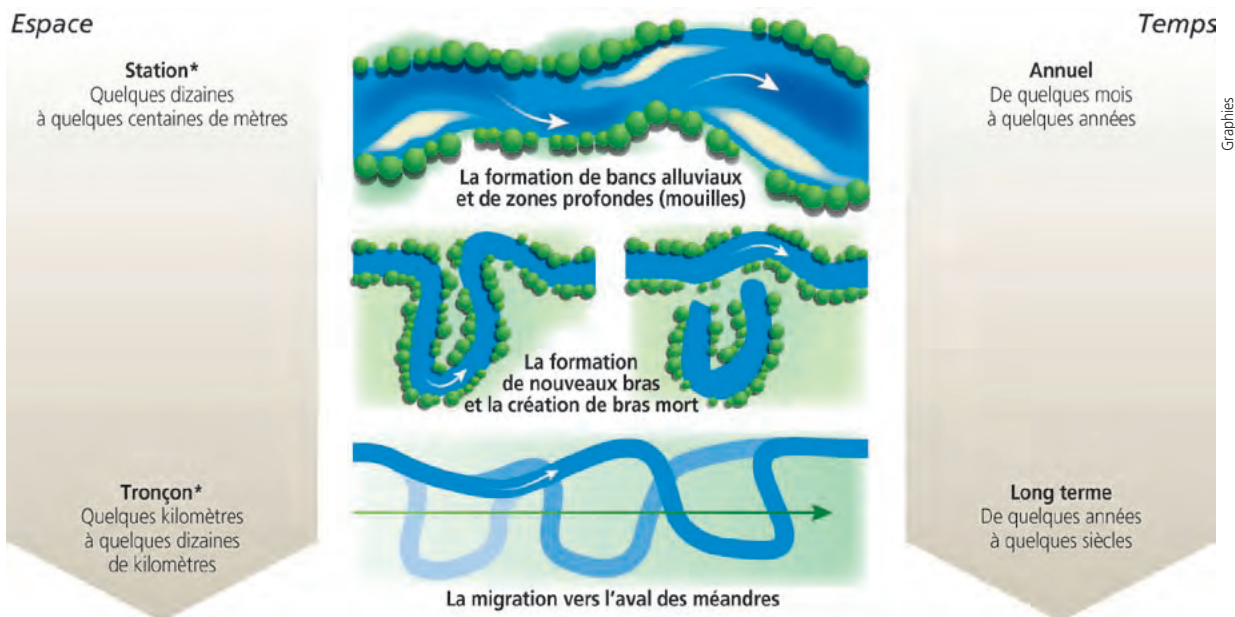
Pour plus d'informations sur les services rendus par les écosystèmes voir la fiche « Pourquoi restaurer ? - De la qualité des milieux aquatiques dépendent de nombreux services rendus à la société »



■ Le cours d'eau, un système dynamique

Le lit mineur du cours d'eau, sous l'influence des débits liquides et des débits solides, est souvent en cours de remaniement. Des bancs alluviaux se forment et sont remobilisés par les crues, des mouilles se créent, de nouveaux bras se forment et d'autres sont abandonnés, les méandres se déplacent. L'évolution régulière de la morphologie du lit est appelée « équilibre dynamique » et traduit le fait que le cours d'eau « se porte bien » d'un point de vue hydromorphologique. Cette mobilité naturelle varie suivant différentes échelles d'espace et de temps qu'on peut appeler dynamique spatio-temporelle [voir schéma page suivante].

De la dynamique spatio-temporelle vient la nécessité de maintenir un espace dédié au fonctionnement du cours d'eau. Cet espace est appelé espace de mobilité sur les rivières actives ou potentiellement actives, c'est-à-dire sur les rivières dont les réajustements morphologiques sont fréquents, ou espace de fonctionnalité sur les autres. Cet espace garantit sur le long terme le bon fonctionnement de l'hydro-système : dissipation de l'énergie du cours d'eau par



ajustement de la pente, recharge en sédiments par érosion des berges, création et régénération de milieux annexes (bras morts), échanges avec la nappe, stabilité du fond du lit mineur (réduction des risques d'incision), etc.

La dynamique spatio-temporelle du cours d'eau traduisant la dynamique fluviale.



Pour plus d'informations sur l'hydromorphologie des cours d'eau : à paraître en 2010, « Éléments d'hydromorphologie fluviale », J.R. Malavoi, J.P. Bravard.

La rivière et son corridor, un espace de biodiversité

La morphologie de la rivière est la résultante de sa dynamique fluviale. Cette morphologie peut se traduire par une mosaïque d'habitats aquatiques et rivulaires pour de nombreuses espèces animales et végétales.

La morphologie et les régimes hydrauliques évoluent de façon très marquée de l'amont vers l'aval. Les espèces de macrophytes (plantes aquatiques), de poissons et d'invertébrés sont par conséquent très différentes dans les têtes de bassin et à l'aval du cours d'eau.

■ Le lit mineur

De l'hétérogénéité du lit mineur va dépendre la nature des peuplements biologiques dans le cours d'eau. Les poissons, selon leurs activités journalières (nourrissage, repos, reproduction) ou leurs différents stades de développement (œuf, alevin, adulte) ont souvent besoin d'un ensemble d'habitats dans le cours d'eau. Ces habitats sont essentiellement décrits par la hauteur d'eau, la vitesse d'écoulement et la taille des granulats. Ces paramètres caractérisent les faciès d'écoulements : radiers, mouilles, plats, rapides, cascades, etc. Certains poissons réalisent des déplacements quotidiens souvent de quelques dizaines à quelques centaines de mètres entre ces différents faciès. Pour la reproduction, les déplacements peuvent être nettement plus longs.

D'autre part, les bancs alluvionnaires exondés une partie de l'année constituent des habitats pour certaines espèces végétales ou animales terrestres. Ce sont par exemple des zones de repos, de nidification ou de chasse de certains oiseaux.



Exemple d'habitat du lit mineur nécessaire à la reproduction de certaines espèces : des graviers non colmatés accueillant les œufs de truite de mer, adéquats pour l'oxygénation des œufs.



Exemple d'habitat exondé du lit mineur et des espèces pouvant y être associés à un moment de la journée : cormorans sur un banc alluvial, servant de zone de repos.

Arnaud Richard - Onema

Henri Carmé - Onema

■ Les berges et la ripisylve

Les berges et la ripisylve sont source de diversification de l'habitat aquatique et rivulaire. La ripisylve favorise l'entrée dans le cours d'eau de bois mort et de matière organique. Par son système racinaire, elle offre des zones de reproduction à certains poissons et invertébrés. Dans sa partie émergée, elle est favorable aux mammifères et aux oiseaux. La berge, selon sa géologie et sa nature, peut aussi constituer un habitat, notamment pour les oiseaux comme les hirondelles de rivage ou le martin-pêcheur.



Henri Carmi - Onema

Exemple d'espèce nichant dans les berges de certains cours d'eau : l'hirondelle de rivage

■ L'interface entre le lit mineur et la berge

La rive du cours d'eau constitue une zone d'interface entre l'eau et la terre. Cette zone de transition est extrêmement riche au plan biologique. Les invertébrés qui se nourrissent de débris organiques et/ou de micro-organismes bénéficient de conditions plus favorables pour se développer, les supports faisant office d'habitats et la ressource alimentaire y étant plus abondante : racines d'arbres, bois mort, plantes aquatiques supérieures et plantes semi-aquatiques. Les poissons et les écrevisses utilisent des abris sous berges pour se cacher, évitant ainsi la prédation.

■ Les annexes hydrauliques

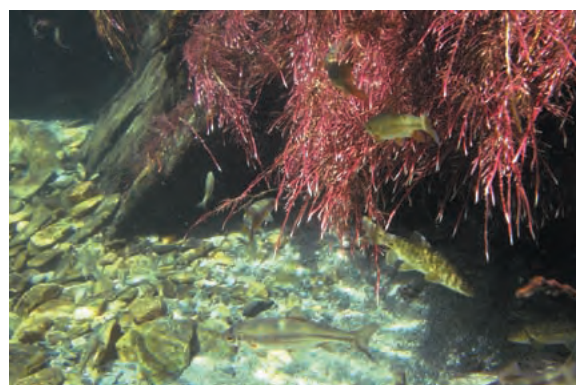
Les annexes hydrauliques dont la qualité est dépendante de la dynamique fluviale (débordement, connexions avec le lit mineur) sont des habitats indispensables à certaines espèces. Les prairies inondées par les crues sont aussi propices à la reproduction de certains poissons comme le brochet, mais aussi d'amphibiens comme la grenouille rousse. Ce sont également des zones exploitées par les oiseaux, notamment les migrateurs, qui trouvent dans ces zones leurs nourritures ou leurs lieux de reproduction comme le râle des genêts.



Philippe Baffie - Onema



Arnaud Richard - Onema



Philippe Baffie - Onema

Exemples d'habitats immergés du lit mineur, occupés par des espèces aquatiques à différents stades de leur développement ou de leur cycle journalier. De haut en bas : blocs constituant un abri à une écrevisse « pieds blancs » ; larve d'invertébré aquatique cherchant sa nourriture sur les graviers ; chevelu racinaire en pied de berge utilisé par une communauté de poissons pour se cacher.



Philippe Baffie - Onema

Exemple d'habitat exondé du lit mineur et espèce pouvant y être associée à un moment de la journée : une loutre à l'affût sur un embâcle.

Pour plus d'informations sur la répartition amont-aval des espèces, voir la fiche « Les typologies des cours d'eau »

■ Le corridor aquatique et rivulaire

À une échelle plus large, le cours d'eau et la bande riveraine qui l'entoure forment des corridors. Ces derniers permettent le déplacement de certaines espèces sur de longues distances par voie aquatique (poissons migrateurs, mammifères semi-aquatiques) ou par voies terrestre et aérienne (oiseaux, chauves-souris, mammifères semi-aquatiques). Ils contribuent dans ce sens à la diversité et la qualité du milieu aquatique et des terres riveraines.

Ces déplacements nécessitent de retrouver à l'échelle de l'hydrosystème (cours d'eau, corridors, plaine d'inondations) l'ensemble des conditions retrouvées localement. Le corridor rivulaire est une composante importante de la « Trame verte et bleue » de la loi « Grenelle 2 Environnement » adoptée en août 2009.



David Monnier - Onema



Michel Bramard - Onema



Ermanuel Perez - Onema



Michel Bramard - Onema

Exemples d'espèces inféodées aux milieux aquatiques, effectuant une de leurs activités vitales dans les annexes hydrauliques. De haut en bas : crapauds communs se reproduisant dans une annexe hydraulique; aeshne imperator mâle se nourrissant d'un sympetrum; brocheton dans les herbiers d'une prairie alluviale; cistude (espèce menacée) se reposant sur du bois mort dans un bras mort.

Pour plus d'informations sur les corridors:
CSPNB (2008). L'arbre, la rivière
et l'homme, MEDAT / D4E: 64,
téléchargeable à l'adresse suivante:

[http://www.ecologie.gouv.fr/L-arbre-la-riviere-et-l-homme.html/](http://www.ecologie.gouv.fr/L-arbre-la-riviere-et-l-homme.html)



Les obligations de la directive cadre sur l'eau et du Grenelle de l'environnement

La directive cadre sur l'eau (DCE) vise à atteindre un bon niveau de qualité pour les eaux européennes. En plus de la qualité chimique des eaux, c'est la qualité biologique des eaux et la continuité écologique qui sont visées. Le rétablissement de l'équilibre biologique et de la biodiversité passe par le retour des systèmes aquatiques à un état fonctionnel proche de celui qu'on pourrait appeler état de référence, c'est-à-dire avant perturbation.

Les systèmes biologiques sont conditionnés par la structure du milieu physique. Le rétablissement du fonctionnement morpho-dynamique d'un cours d'eau contribuera à améliorer son état écologique comme requis par la DCE. Cela participera aussi au rétablissement de la continuité écologique dans les cours d'eau et à l'amélioration du fonctionnement des écosystèmes et écotones (zones d'interface) favorisant la biodiversité.



De la qualité des milieux aquatiques dépendent de nombreux services rendus à la société

L'essentiel...

- Les sociétés dépendent des fleuves et des rivières en bon état pour assurer leur développement sur le long terme.
- Les milieux aquatiques ont des fonctions multiples, qu'il est nécessaire de connaître afin de les gérer de manière durable.

Le milieu naturel rend de nombreux services – aussi appelés *aménités* – aux sociétés humaines, contribuant à leur développement et leur bien-être. La plupart des services fournis dépendent de l'état de conservation des écosystèmes. En effet, leur fonctionnement dans de bonnes conditions est souvent nécessaire à la préservation des fonctions et services que l'on peut leur associer.

Il en est de même pour les services fournis par l'hydro-système, c'est-à-dire l'ensemble des écosystèmes aquatiques et humides (cours d'eau, zone humide, corridor rivulaire, plaine d'inondation, annexe hydraulique, nappe alluviale) qui compose le milieu aquatique et qui sont indissociablement unis par une même dynamique fluviale.

Pour en savoir plus sur la dynamique fluviale, voir la fiche « Pourquoi restaurer ? - La dynamique fluviale, à l'origine de la biodiversité et du bon état écologique »

Les services offerts par l'environnement ne sont généralement perceptibles par les pouvoirs publics et la société civile que lorsqu'ils régressent. Par exemple, c'est lorsque la qualité de l'eau se dégrade et qu'elle devient incompatible avec la baignade ou l'adduction d'eau potable que l'on mesure la valeur des services rendus par un cours d'eau en bon état. Cette valeur s'évalue à travers une perte économique liée à l'interdiction temporaire ou permanente de baignade ou des surcoûts d'intervention liés à d'éventuels traitements complémentaires devenus nécessaires et récurrents.

C'est pourquoi ces dernières années, plusieurs études ont été menées pour tenter d'estimer la valeur économique associée aux services écosystémiques. Cette évaluation se caractérise par une grande diversité de méthodes, mises au point par des économistes spécialisés en environnement. Il existe toutefois des limites à ces méthodes conduisant à la difficile utilisation des données en dehors du contexte particulier de l'étude. La démarche a toutefois permis de

clarifier les différents types de services que l'on peut regrouper en grandes catégories pour en faciliter la compréhension globale.

Identifier et évaluer les services écosystémiques : une démarche d'intérêt

Il n'est pas toujours facile de réaliser une évaluation des services rendus, en raison notamment d'une absence de valorisation par le marché. Pour autant, il faut retenir de ces démarches d'évaluation économique pas tant les valeurs estimées généralement dans un contexte particulier avec une approche précise, mais surtout une observation générale : tous les écosystèmes, même les plus petits, ont une valeur économique non négligeable. Un des objectifs de cette démarche est d'accroître la connaissance des services rendus par les écosystèmes et leur fonctionnement

Une démarche internationale en faveur de l'identification et de la reconnaissance des services rendus par les milieux naturels : *Millenium Ecosystem Assessment*

Pour comprendre la nature des services fournis par les écosystèmes et les évaluer de manière monétaire, le programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) a réalisé en 2005, un rapport sur l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire et a dénombré trente-et-un services, classifiés en quatre catégories : approvisionnement, régulation, services culturels et auto-entretien. De nombreux travaux sont en cours pour estimer les coûts liés à leur perte.

Dans la même logique et suivant une démarche similaire, la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du ministère en charge de l'Écologie mène actuellement une étude sur l'évaluation de l'état des écosystèmes terrestres, aquatiques et marins français. Cette étude « MEA France » est conçue dans l'esprit du *Millenium Ecosystem Assessment*.

et d'apporter des arguments complémentaires en faveur d'actions de préservation voire de restauration des milieux naturels, de faciliter ainsi l'engagement de maîtres d'ouvrage notamment publics, mais aussi privés, en amenant progressivement un soutien de la société en général en faveur de l'écologie.

Des études montrent effectivement que la restauration écologique facilite la récupération des services écosystémiques et permet d'augmenter de 44 % la biodiversité et de 25 % les services écosystémiques¹. D'un point de vue social, l'amélioration des services écosystémiques agit également comme moteur de l'économie en favorisant l'emploi «vert». D'un point de vue économique, il s'agit de mettre en évidence sa contribution en termes de bénéfices ou en termes de coûts évités. À ce titre, la préservation et la restauration des fonctionnalités des milieux aquatiques est bien aussi un moteur du développement durable reposant sur ces trois piliers : écologie, économie et social.



L'eau de source, le plus vital des biens fournis par les milieux aquatiques.

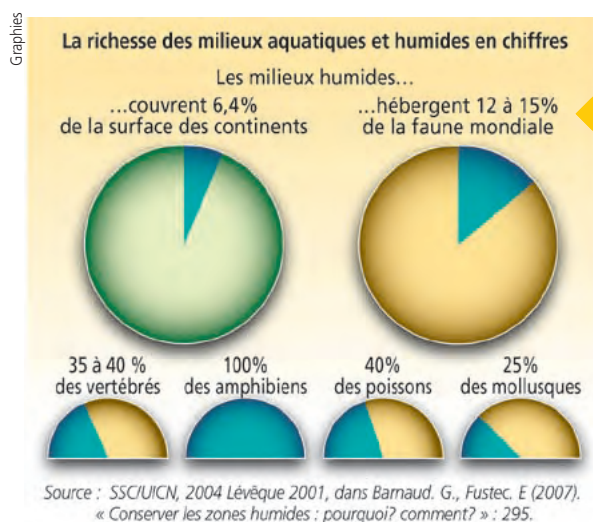
1 - Rey-Benayas J.M., Newton A.C., Diaz A., Bullock J. (2009). «Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis.» Science 325(5944): 1121 - 1124.

Les services d'approvisionnement

De façon générale, les écosystèmes procurent de nombreux biens ou produits tels que des produits alimentaires, des fibres (bois, coton, laine, soie, poissons, produits de la mer, etc.), des combustibles, des médicaments naturels (les algues, les racines, les produits non-ligneux), des produits pharmaceutiques et des ressources ornementales. Le plus vital d'entre eux est bien sûr la fourniture d'eau douce par les milieux aquatiques et humides.

L'abondance et la diversité des produits issus de l'hydrosystème sont fortement dépendantes de la qualité des milieux qui le composent. Ainsi, un hydrosystème constitué d'habitats hétérogènes (ripisylve, zones humides, abris sous berges, blocs, embâcles, annexes hydrauliques, etc.) favorise la présence et l'abondance d'une faune et d'une flore diversifiées, trouvant dans leur environnement l'ensemble des ressources et espaces nécessaires à l'accomplissement de leur cycle de vie. On peut qualifier ces milieux de riches et productifs au regard de la biodiversité et de l'importance de la biomasse qui les caractérisent.

En revanche, dans un système altéré ou au fonctionnement dégradé (cours d'eau rectifié, habitats homogènes, absence de ripisylve, etc.) on observe un changement global de la structure du système : réseau trophique perturbé, risque d'eutrophisation accéléré, compétition entre les espèces exacerbée, structuration des peuplements animal et végétal déséquilibrée, confinement des espèces. Les impacts de l'artificialisation des milieux aquatiques (chenalisation, par exemples) sont très graves et continus, les biomasses de poissons sont fréquemment réduites de 80 % ou plus : il n'y a pas de récupération biologique tant que dure l'altération physique².



2 - Wasson J-G., Malavoi J-R., Maridet L., Souchon Y., Paulin L. (1995). Impacts écologiques de la chenalisation des rivières : 152.

Henri Carnié - Onema



Les milieux riches et productifs sont caractérisés par une forte biodiversité.

Les milieux aquatiques sont, avec les forêts tropicales, les milieux les plus productifs à l'échelle de la planète³. Leur bon état permet de soutenir des activités économiques non négligeables et répond surtout aux besoins vitaux des populations en terme d'alimentation et d'eau potable : produits de la pêche, exploitation d'une source sans trop de traitements additionnels... La restauration de la dynamique du cours d'eau, des habitats aquatiques, de la plaine d'inondation et/ou la modification de certaines pratiques agricoles sur le bassin versant permettent d'augmenter la qualité des produits et/ou d'améliorer la productivité naturelle des milieux.

Un exemple

La restauration de frayères à brochets sur la Charente

La restauration de douze hectares de frayères à brochets sur le fleuve Charente, par la fédération départementale de pêche de la Charente, a permis de recréer des capacités d'accueil et des conditions de fonctionnement du milieu favorables à une reproduction naturelle de brochets. L'efficacité de cette mesure a été démontrée grâce aux carnets de prélèvements mis en place en 1995 qui montrent une augmentation de l'abondance de la population piscicole. Avant les travaux, onze heures de pêche étaient nécessaires pour capturer un brochet maillé, contre seulement six aujourd'hui. Les pêcheurs sont satisfaits et les gestionnaires locaux n'ont plus besoin d'effectuer de repeuplement du fait du rétablissement de la reproduction naturelle dans le milieu aquatique.

Source : Milot F. « La restauration des frayères à brochet - Le cas des marais d'Ambérac » Colloque Les bons comptes des zones humides, février 2009.

Les services de régulation

Les hydrosystèmes par leur fonctionnement contribuent à la régulation de divers processus, comme le climat ou les risques naturels. Le stockage des précipitations dans les plaines d'inondations, la recharge des aquifères et le soutien d'étiage des cours d'eau par les zones humides et l'épuration de l'eau sont les services de régulation les plus souvent observés au niveau des hydrosystèmes.

■ **L'amélioration de la qualité physico-chimique de l'eau : le pouvoir auto-épurateur de la rivière et de sa plaine alluviale**

Les hydrosystèmes continentaux, côtiers et marins assurent une fonction d'épuration des eaux. Ils peuvent assimiler et détoxifier des composés agressifs pour les organismes grâce à certains processus à l'œuvre dans le sol ou le sous-sol.

Des études ont montré que la diversité des caractéristiques morphologiques de la rivière augmente son pouvoir auto-épurateur⁴. La capacité d'auto-épuration des cours d'eau est influencée par des paramètres tels que le débit, la vitesse du courant, la température et la géomorphologie. En règle générale, plus les interactions entre eau de surface et zone hyporhéique (fond du cours d'eau) sont diversifiées, plus la capacité d'épuration est développée. Ainsi la matière organique est plus rapidement dégradée lorsqu'elle est bloquée par des petits embâcles ou des blocs et en présence d'une alternance de radier et de mouille.

Corinne Forst - Onema



Dans les rivières peu artificialisées, le pouvoir épurateur est conservé grâce aux échanges possibles entre les eaux superficielles et la zone hyporhéique.

3 - Barnaud. G., Fustec. E (2007). « Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ? » : 295

La contribution de la plaine alluviale au pouvoir épurateur

- La capacité épuratrice de dispositifs enherbés de six mètres de large atteint sur les écoulements superficiels une moyenne interannuelle de 70 %. Une bande enherbée de 12 à 18 mètres de large offre une capacité d'épuration entre 84 à 91 %^a.
- En moins de 30 mètres, une forêt alluviale est capable d'abattre jusqu'à 80 % des teneurs en nitrates contenu dans les écoulements superficiels^b.
- Le réseau racinaire peut réduire considérablement la teneur en sels nutritifs apportés par le monde agricole tels que les nitrates et les phosphates. L'action conjuguée de l'absorption racinaire par les végétaux et la dénitrification par les micro-organismes peut dans certaines conditions éliminer plus de 99 % des nitrates^c.

 Pour plus d'information sur l'effet des bandes enherbées et boisées : CSPNB (2008). « L'arbre, la rivière et l'homme », MEDAT / D4E: 64.^d

 Pour plus d'information sur les zones tampons : CORPEN (2008). « Les zones tampons, un moyen de préserver les milieux aquatiques », MEDAD / MAP. 20.^e

a - Agence de l'eau Loire Bretagne, 1997.

b - Lefevre, Colloque zones humides, octobre 1994.

c - Décamps - MATE.

d - Téléchargeable à l'adresse suivante :

<http://www.ecologie.gouv.fr/L-arbre-la-riviere-et-l-homme.html>

e - Téléchargeable aux adresses suivantes :

- brochure : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/zones_tampons_20_pages_a5-2.pdf

- diaporama : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/diaporama_ZT_def-2.pdf

Par exemple, sur le Rhin, il a été montré que l'auto-épuration est d'autant plus intense que l'hydrosystème est diversifié, en réalité « peu artificialisé »⁴. À l'inverse, lorsque le cours d'eau est dégradé, incisé par exemple, le rendement épuratoire pour certains paramètres baisse⁵, d'où l'intérêt d'un cours d'eau en bon état « hydromorphologique » et donc en bon état de fonctionnement.

Les zones humides, ainsi que les zones enherbées ou boisées le long des cours d'eau, aussi appelées « zone tampon », participent également au bon fonctionnement des processus d'épuration du cours d'eau. Elles contribuent au piégeage des polluants et des particules fines [voir encadré ci-dessus].

La morphologie peu altérée du cours d'eau ainsi que la végétation des berges et une dynamique fonctionnelle avec la plaine d'inondation contribuent donc à la réduction de la pollution des milieux aquatiques.

Ces observations confortent le besoin de restaurer de bonnes conditions de fonctionnement de l'hydrosystème afin de reconquérir des cours d'eau avec une

bonne qualité physico-chimique évitant d'une part les phénomènes d'hyper-eutrophisation caractérisés par le développement d'algues ou de végétaux supérieurs, et d'autre part, le recours à des traitements complémentaires et coûteux pour l'approvisionnement en eau potable.

Le ministère en charge de l'Écologie a estimé que les dommages liés à la pollution de l'eau en France s'élevaient à trois milliards d'euros par an⁶. Sur un ensemble de zones humides réparties sur 89 sites à travers le monde, il a été estimé que la fonction d'épuration pouvait représenter une valeur économique d'environ 251 €/ha/an⁷. La préservation de la qualité des cours d'eau pourrait représenter des économies réelles en matière d'investissement pour la potabilisation des eaux et/ou la réduction de la pollution des eaux.

C'est le cas par exemple à New-York où la ville a, en 1996, fait le choix de mettre en œuvre un programme de restauration écologique sur le bassin d'alimentation en eau potable plutôt que de mettre en place un dispositif de traitement de l'eau. Les deux scénarios ont été chiffrés et comparés, la solution retenue a ainsi permis d'économiser plus de six milliards de dollars, faisant prendre conscience de l'importance des services rendus par les écosystèmes⁸.

■ La régulation des débits d'eau : la capacité de rétention des eaux des plaines d'inondation

L'hydrosystème régule le régime des eaux (stockage en crue, soutien d'étiage). Il agit notamment sur la répartition des eaux dans le temps, l'ampleur du ruissellement et l'alimentation des aquifères et des cours d'eau.

Les plaines d'inondation (ou champs d'expansion des crues) permettent le stockage des eaux en période de forte crue et une restitution lente et continue au

La contribution de certains compartiments de l'hydrosystème à la régulation des crues

- Certaines zones humides peuvent stocker jusqu'à 15 000 m³ d'eau par hectare^a.
- Une étude réalisée sur 89 sites a estimé que le service de régulation des crues émanant des zones humides, peut représenter un bénéfice ou un coût évité de 404 €/ha/an^b.
- La végétation du lit majeur joue un rôle efficace dans le ralentissement des crues en freinant la vitesse du courant.

a - Bureau de la Convention de Ramsar, 2001

b - Schuyt et Brander. 2004. *The economic values of the world's wetlands, living waters. Conserving the source of life*, WWF International. Gland.

4 - Namour, P. (1999). Auto-épuration des rejets organiques domestiques. *Nature de la matière organique résiduaire et son effet en rivière*. LYON 1, Université Claude Bernard : 164

5 - Barnaud, G., Fustec, E. (2007). « Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ? » : 295

6 - D'après le ministère de l'écologie et du développement durable
7 - Schuyt et Brander (2004). *The economic values of the world's wetlands, living waters. Conserving the source of life*, WWF International. Gland.

8 - CSPNB, (2007). *La biodiversité à travers des exemples*. MEDAD/D4E : 104



David Monnier - Onema

Régulation du régime des eaux par le stockage des eaux de crue dans le lit majeur du cours d'eau.

cours d'eau en période plus sèche. Elles influencent ainsi la propagation de l'onde de crue en réduisant la vitesse de transfert de l'eau. Le stockage de l'eau dans les plaines d'inondation réduit ainsi le risque d'inondation dommageable à l'aval, mais contribue aussi à l'épuration de l'eau par les zones humides alluviales et à la recharge des aquifères. Les dégâts causés par les inondations en France s'élèvent en moyenne à 265 millions d'euros par an ⁹. La préservation et la restauration de la dynamique fluviale qui assure « l'entretien » des milieux aquatiques dans les corridors aquatiques permettent, par stockage d'eau dans ces espaces, de diminuer le risque d'inondations dommageables dans les secteurs à enjeux.

La préservation et la reconquête d'espaces de mobilité, et au-delà d'espaces de rétention des crues au sein desquels peuvent se développer des milieux aquatiques de qualité, contribuent à la réalisation d'économies en diminuant le nombre et l'intensité des dégâts causés par les inondations dommageables.

Sur le fleuve Charente, la modification des usages des sols, avec l'artificialisation, l'urbanisation et surtout la régression des prairies, a conduit à l'extension des inondations de zones urbaines, à l'accélération des ruissellements, à l'artificialisation des cours d'eau. Pour les villes de Cognac, et de Saintes, le montant des dégâts liés aux trois crues subies en dix-huit ans, s'élève respectivement à 10 M€ et 4 M€. Avec les couverts végétaux d'antan les coûts auraient été atténués de cette grandeur ¹⁰.

Un exemple

La restauration du Vistre et des zones humides adjacentes (Gard)

La restauration du Vistre a permis la reconquête de zones humides directement en relation avec le cours d'eau. Les aménagements réalisés permettent à présent le stockage de plus de 40 000 m³ d'eau sur quatre hectares. L'incidence pour les riverains situés à l'aval apparaît visible puisque ceux-ci indiquent qu'« en période d'inondation, le niveau d'eau reste le même mais l'eau n'a plus la violence destructrice d'avant les aménagements ».

Voir aussi la fiche « Retour d'expériences » consacré au reméandrage du Vistre.

Les services culturels

Les écosystèmes jouent un rôle essentiel dans la vie sociale et culturelle. Lieux de détente et de loisirs, de rencontre ou de repos, de bien être et de soins, de dépaysement, sources d'inspiration et de beauté, repères d'une identité personnelle ou collective, mémoire du territoire et de certaines traditions... les espaces aquatiques recouvrent de multiples fonctions au sein de la société humaine. Par leurs propriétés matérielles et immatérielles, les écosystèmes aquatiques contribuent à la qualité de vie et à la culture, qui sont des valeurs non marchandes mais bien réelles et déterminantes dans les choix de vie et de société des hommes. L'ensemble de ces services culturels non-marchands ¹¹ sont essentiels aux communautés humaines.

Ainsi, la perception du paysage est très importante pour les riverains. Plus qu'aux caractéristiques de la rivière elle-même, c'est à l'environnement de la rivière que les individus sont le plus sensibles : présence d'arbres, ombrage, oiseaux... La rivière et son corridor écologique contribuent à l'attractivité et à la qualité du paysage fluvial.

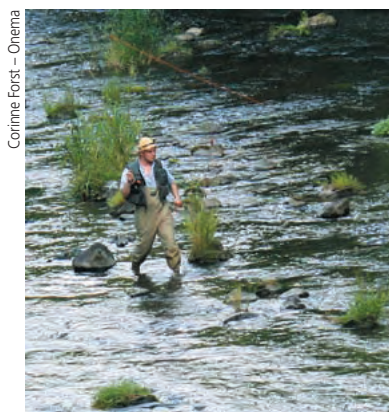
Certaines études réalisées en France montrent que la fonction d'agrément, de paysage et de préservation d'une biodiversité terrestre et aquatique associée aux sites, est valorisée par les populations locales. Il ressort parfois de ces études des estimations de consentement à payer par la population fréquentant ces sites afin que la qualité de ceux-ci et leur accessibilité soit préservée voire améliorée. Ainsi, pour l'estuaire de l'Orne, la population locale serait prête à payer entre 20 et 67 € (valeur 2004) pour contribuer « au financement des travaux de protection et d'entretien de l'estuaire » et entre 2,5 et 5 € par visite pour pouvoir bénéficier des jouissances que procure cet espace ¹². Une autre approche par les coûts de transport permet aussi de montrer l'importance accordée par les riverains comme les visiteurs à l'existence et la protection de l'estuaire de l'Orne.

D'autres approches économiques estiment la valeur attachée par la population fréquentant des sites naturels ou y pratiquant une activité par l'ensemble des coûts liés directement ou indirectement à cette pratique : temps passé, coût de déplacement et d'hébergement, coût de matériel et de fonctionnement... Ainsi aux États-Unis, la pêche sportive attire plus de 45 millions de personnes qui y consacrent 24 milliards

10 - Agence de l'eau Adour-Garonne. (2009). « Évaluation économique des zones humides ». Synthèse. Eco What ACTéon : 10.

11 - Il n'existe pas de transaction économique ni de marché servant de référence pour l'évaluation monétaire de ces services. Néanmoins, il existe des méthodes d'évaluation mettant en évidence ces valeurs non-marchandes.

12 - Scherrer S. et al (2003). Évaluation économique des aménités récréatives d'une zone humide du littoral : le cas de l'estuaire de l'Orne. Série études n° 03-E. Paris. Ministère de l'écologie et du développement durable - Direction des Études économiques et de l'évaluation environnementale.



Corinne Forst - Onema



Michel Bramard - Onema



Michel Bramard - Onema

Pratique de la pêche à la mouche (Haute-Loire).

Passage de canoës à Ornans (Doubs).

Saut de baigneurs dans la rivière (Creuse).

Quelques activités de loisirs liées aux rivières vivantes.

de dollars chaque année ¹³. Autre exemple du même type, sur le bassin Loire-Bretagne ¹⁴ le poids économique de la pêche de loisir reflétant les retombées économiques de l'activité des pêcheurs (dépenses en matériel, timbre, hébergement...) s'élevait en 2004 à 110 millions d'euros par an.

Ces approches économiques dans le domaine de l'environnement peuvent apporter des arguments supplémentaires, en faveur de la restauration des milieux aquatiques et humides. Leur restauration écologique et fonctionnelle n'est pas contradictoire avec la pratique d'activités de loisirs. Au contraire, l'accroissement de la diversité du cours d'eau permet de diversifier les activités de pêche et la pratique d'activités sportives, canoë, randonnées par exemple. À travers la restauration des milieux aquatiques, une plus-value peut être apportée au paysage. Ce dernier peut être valorisé en créant des points d'accès à pied ou à vélo, en créant des chemins de randonnées ou des circuits d'interprétation permettant de faire découvrir le patrimoine naturel et historique de la région.

Un exemple

L'effacement du barrage de Kernansquillec dans les Côtes-d'Armor

Le projet de réhabilitation du site élaboré avec les collectivités locales a conduit à la mise en place d'un sentier de découverte nature et patrimoine historique, avec une exposition permanente installée sur la « voûte-témoin du barrage » et relatant l'histoire socio-économique du barrage et son rôle dans le bassin d'activité. Le sentier repéré parmi les plus beaux sentiers de randonnée de Bretagne permet de découvrir des prairies alluviales inscrites en site Natura 2000, entretenues par le troupeau de bovins d'un agriculteur local.

Voir aussi la fiche « Retour d'expériences » consacrée à l'effacement du barrage de Kernansquillec.

Les services d'auto-entretien

Les services d'auto-entretien correspondent à des fonctions essentielles à la réalisation de tous les autres services écosystémiques. Ils se distinguent des services d'approvisionnement, de régulation et culturels par le fait que leurs effets sur les personnes s'exercent souvent de manière indirecte et s'étendent sur une très longue durée : par exemple la formation des sols, le cycle des éléments nutritifs, le renouvellement des habitats pour les espèces animales, la production primaire, la photosynthèse ou le cycle de l'eau.

Concrètement, les capacités des milieux aquatiques et humides à fournir ces services fondamentaux sont souvent dégradées du fait des altérations hydromorphologiques portant atteinte à la dynamique fluviale et au bon fonctionnement de l'hydrosystème.

La préservation des cours d'eau en bon état écologique et la reconquête de conditions favorables à un bon état écologique pour les cours d'eau dégradés (notamment de bonnes conditions hydromorphologiques permettant un bon fonctionnement de l'hydrosystème) sont un enjeu essentiel pour notre société à bien des titres.

13 - Barnaud. G., Fustec. E (2007). « Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ? » : 295

14 - Agence de l'eau Loire-Bretagne (2004) « État des lieux du bassin Loire-Bretagne »

L'intérêt et l'importance d'une hydromorphologie non perturbée

L'essentiel...

- Le fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau contribue au bon état des compartiments biologiques évalués dans l'application de la directive cadre sur l'eau (DCE).
- La recherche de bonnes conditions hydromorphologiques peut contribuer à l'atteinte du « bon état écologique » des masses d'eau de surface requis par la DCE à l'échéance de 2015.

La dynamique fluviale modèle les habitats aquatiques et assure leur régénération périodique. Cette variabilité du milieu permet aux poissons, invertébrés, plantes aquatiques, oiseaux, amphibiens et mammifères semi-aquatiques de se développer. L'hydrosystème et les espèces associées sont intimement dépendants de la préservation ou de la restauration du fonctionnement hydrologique et morphologique du cours d'eau.

Pour plus d'informations sur la relation entre le milieu physique et les habitats, voir la fiche « Pourquoi restaurer ? - La dynamique fluviale, à l'origine de la biodiversité et du bon état écologique ».



Un méandre de la Meuse.

Pierre Mangeot - Onema

Hydromorphologie et bon état

Le « très bon état écologique », au sens de la directive cadre sur l'eau (DCE), requiert des conditions hydromorphologiques peu ou pas perturbées par l'activité humaine¹. Pour l'évaluation de l'état écologique, qui constitue, avec le bon état chimique, une des deux composantes du « bon état », les caractéristiques hydromorphologiques ne sont pas directement prises en compte. L'état biologique est évalué à travers cinq compartiments que sont les poissons, les invertébrés aquatiques, le phytoplancton, les végétaux aquatiques supérieurs et les diatomées. Les caractéristiques hydromorphologiques sont en revanche prises en compte comme facteur explicatif de l'état biologique, au même titre que la physico-chimie.

La circulaire DCE 2005/12 relative à la définition du « bon état » précise que dans les paramètres hydromorphologiques soutenant la biologie et décrits ci-dessous, des actions doivent être engagées dans le cadre des plans de gestion et des programmes de mesures.

Les paramètres hydromorphologiques qui soutiennent les paramètres biologiques sont :

- **les conditions morphologiques** : diversité des profondeurs, de la largeur de la rivière, du substrat du lit et de la végétation des rives ;
- **la continuité écologique de la rivière** : montaison et dévalaison des espèces aquatiques ; flux de sédiments, connexions avec les annexes hydrauliques ;
- **le régime hydrologique** : respect de débits minimums d'étiage, présence de crues morphogènes – temps de retour de un à trois ans en général –, connexions avec les eaux souterraines.

1 - Les indicateurs et valeurs-seuils pertinents de ces éléments hydromorphologiques pour l'attribution de la classe d'état « très bon » ne sont pas encore définis au niveau national.

Les conditions d'un bon fonctionnement hydromorphologique

Le bon fonctionnement hydromorphologique peut être caractérisé par la combinaison de paramètres qui traduisent la dynamique fluviale. Ces paramètres sont à rapporter au type de cours d'eau (de montagne ou de plaine...) car se comportant de façon très différente.

■ Une morphologie diversifiée

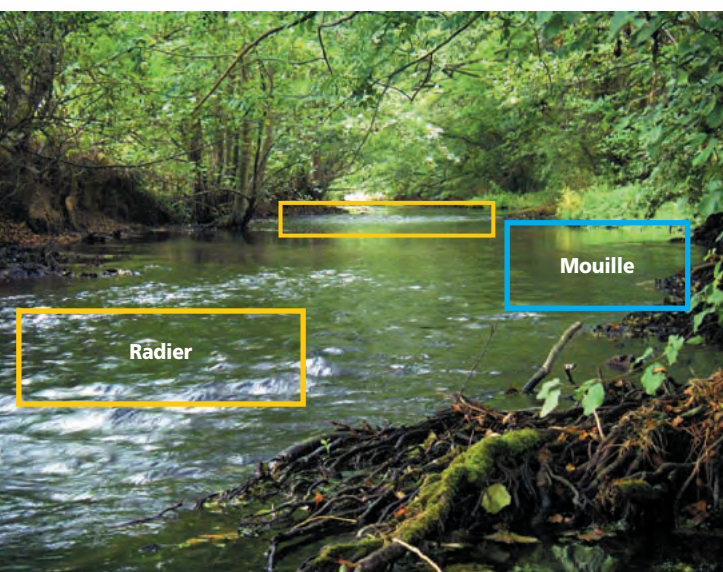
● La diversité de faciès

L'alternance de radiers – zones courantes et peu profondes – et de moulles – zones lentes et profondes – permet de dissiper l'énergie du cours d'eau. Elle se retrouve plus ou moins marquée, sur le profil longitudinal naturel de presque tous les cours d'eau. Les différents faciès d'écoulement – radiers, moulles, plats, rapides, cascades... – sont des habitats fondamentaux pour les poissons et les autres espèces aquatiques.



Michel Bramard - Onema

La diversité des faciès d'écoulement garantit l'hétérogénéité des habitats du cours d'eau. Ci-dessus, un radier. Ci-dessous, alternance de radiers et de moulles.



Laetitia Bouter-Berry - Onema

● Des berges non protégées

Des berges érodées ne traduisent pas toujours un dysfonctionnement du cours d'eau. Les réajustements sont naturels et nécessaires. Les berges vives constituent des habitats pour la faune piscicole (sous-berges) et certains oiseaux (hirondelles de rivage ou le rollet d'Europe par exemple).



Corinne Forst - Onema



Corinne Forst - Onema

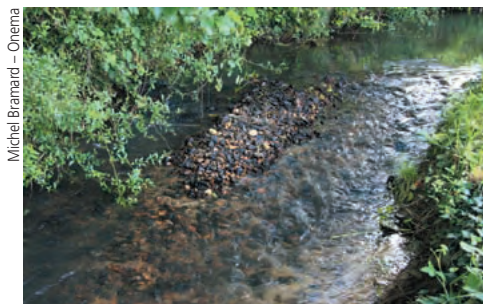


Remy Assento - Onema

Des berges naturelles non protégées participent aux réajustements hydromorphologiques du cours d'eau et constituent des habitats pour de nombreuses espèces. De haut en bas : berges de la Loire à Gien (Loiret) ; berges érodables de l'Ornain (Meuse) ; berges de la Douinas (Alpes-Maritimes).

● Des bancs alluviaux mobiles

De nombreux cours d'eau ont une dynamique sédimentaire forte. Ils transportent, déposent et reprennent régulièrement des granulats. Les bancs alluvionnaires (ou atterrissements) formés par les dépôts de sédiments sont généralement mobilisés lors des crues. Fréquemment émergés, ils sont convoités par de nombreuses espèces animales et végétales.



Michel Bramard - Onema



Corinne Forst - Onema



Vincent Marry - Onema

Les bancs alluvionnaires résultent du transport solide du cours d'eau. Ils peuvent constituer des habitats pour la faune et la flore. De gauche à droite : atterrissement formé sur un radier suite à une crue sur le Ballon (Indre-et-Loire) ; atterrissement sur la Moselle (Vosges) ; dépôts de sédiments sur la berge intérieure du méandre du Castellas sur le Gardon (Gard).

● Une ripisylve fournie et variée

Dans les zones géographiques où la ripisylve peut exister (zone géoclimatique favorable), la présence d'une ripisylve stratifiée - végétation herbacée, arbustive et arborée - avec de nombreuses essences et dense, est un facteur favorable au bon fonctionnement écologique du cours d'eau. Elle est source de nourriture et constitue un habitat pour de nombreuses espèces aquatiques et terrestres.



Henri Carmé - Onema



Vincent Burgun - Onema

La présence d'une ripisylve stratifiée, diversifiée et dense participe au bon fonctionnement écologique du cours d'eau. Ripisylve dense et diversifiée (à gauche) et ripisylve stratifiée (à droite). Présences des trois strates de végétation (herbacée, arbustive et arborée).

■ La continuité écologique assurée

La continuité écologique permet la libre circulation des espèces et des sédiments dans le cours d'eau. Elle contribue au bon fonctionnement du milieu aquatique et à l'accomplissement du cycle biologique des espèces.

● Un corridor rivulaire non fragmenté

Zone de transition entre l'écosystème aquatique et l'écosystème terrestre, le corridor rivulaire est constitué par une mosaïque d'habitats (boisements, prairies, mares, etc.). La présence d'un cours d'eau ou d'un boisement ne suffit pas pour constituer un corridor. C'est la fonction de conduction qui le définit. Outre ses fonctions d'habitat et de régulation (régulation des débits, épuration), il permet le déplacement des espèces aquatiques et terrestres.



Europa Technologies. Image / Sanborn / Google. Gray Buildings

Le corridor rivulaire constitue une zone tampon à conserver. Il favorise le déplacement des espèces aquatiques et terrestres. Ici, le corridor rivulaire prairial de la Meuse (Meuse)



Le corridor rivulaire boisé de l'Aube et de l'Auzon (Aube).

● Un espace de mobilité respecté

L'espace de mobilité est défini comme l'espace du lit majeur à l'intérieur duquel le lit mineur peut se déplacer. Cet espace de fonctionnalité du cours d'eau permet les ajustements morphologiques et la régénération des habitats de l'hydrosystème. Les modifications morphologiques peuvent être plus ou moins fréquentes selon la typologie du cours d'eau : tous les deux à trente ans pour des cours d'eau très mobiles et tous les cents à mille ans pour des cours d'eau faiblement mobiles.



Christian Peugeot - Onema



Europa Techn. Image / Sanborn / Google. Gray Buildings

Conserver un espace de mobilité permet de ne pas gêner les possibles réajustements morphologiques du cours d'eau. De gauche à droite : espace de mobilité du Var (Alpes-Maritimes) ; méandres abandonnés et recréés par l'Allier (Allier).



Scan 25 © IGN



Europa Techn. Image / Sanborn / Google. Gray Buildings



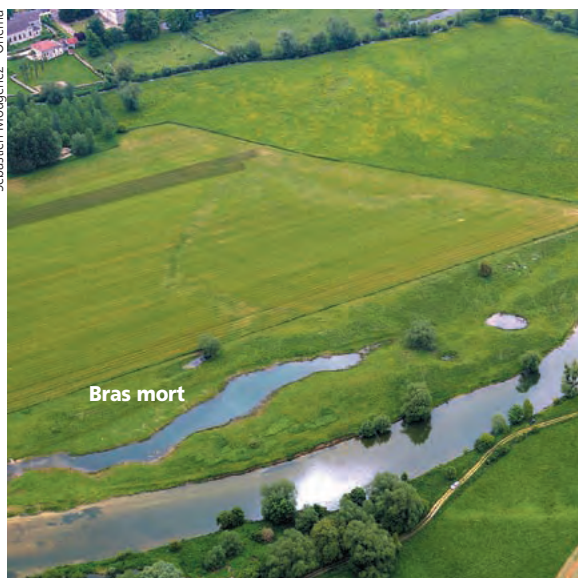
Carte de « Napoléon »



Scan 25 © IGN

Les ajustements morphologiques du cours d'eau peuvent être plus ou moins fréquents. En haut, l'Orne (Meuse), rivière à lit mobile : entre la carte IGN et la photo aérienne de 2007 le cours d'eau a changé de tracé. En bas, la Meuse (Meuse), cours d'eau très peu mobile : entre la carte de Napoléon (XIXe siècle) et la carte IGN (fin XXe siècle), le tracé de la Meuse n'est pas changé.

Sébastien Mougenez - Onema



Bras mort

Pierre Mangot - Onema



La présence d'annexes hydrauliques fonctionnelles est nécessaire. Elles constituent des zones de frayères potentielles pour de nombreuses espèces. En haut : annexe hydraulique de type bras mort ; en bas, annexe hydraulique de type prairie alluviale.

● Des annexes hydrauliques fonctionnelles

Les annexes hydrauliques sont des zones humides riveraines des cours d'eau. Il peut s'agir de bras secondaires actifs, d'anciens bras, mais aussi de mares. Les prairies inondables peuvent aussi leur être assimilées.

Les annexes hydrauliques sont issues de la dynamique et de la mobilité du cours d'eau. Ces espaces sont généralement en connexion temporaire avec les écoulements dans le lit du cours d'eau. Les cours d'eau naturels de plaine, non contraints par des collines ou des montagnes, débordent régulièrement et inondent ces annexes hydrauliques. Ces dernières constituent alors des milieux favorables et parfois même exclusifs à la reproduction ou à la croissance de certaines espèces. Dans des conditions naturelles, un bras mort finit par se combler. Si le déplacement du lit est possible, sa disparition est compensée par l'apparition naturelle d'autres bras en d'autres points du bassin.

Un régime hydrologique fluctuant au fil des saisons

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se caractérise par l'alternance de hautes et basses eaux. Il fluctue sensiblement au cours des saisons. Il est conditionné par le régime des précipitations, la nature du bassin versant, la situation géographique du cours d'eau ou encore l'infiltration. Il existe plusieurs types de régime hydrologique de référence : pluvial, nival, pluvio-nival, glaciaire.

L'alternance de hautes et basses eaux est indispensable pour le renouvellement des habitats du cours d'eau et de la plaine alluviale, et pour la recharge des nappes d'accompagnement. Elle influence également la distribution et l'abondance des espèces.

Michel Bramard - Onema



Corinne Forst - Onema



David Monnier - Onema



La fluctuation du régime hydraulique des eaux permet le renouvellement des habitats de l'hydrosystème. De haut en bas : cours d'eau à l'étiage ; cours d'eau quasiment en crue de plein bord ; cours d'eau en crue hivernale.

Les cours d'eau totalement exempts d'altération physique sont aujourd'hui en nombre limité. Afin de les protéger d'une possible dégradation, notamment de la création de nouveaux obstacles à la continuité, une réglementation a été mise en place. Ils seront classés par l'article L.214-17 du Code de l'environnement. Cette mesure concerne les cours d'eau en très bon état écologique, les réservoirs biologiques et/ou les cours d'eau constituant des axes de migration des poissons amphihalins.



Thierry Buzzi - Onema

Un méandre de la Meuse.

L'altération de l'hydromorphologie d'un cours d'eau à l'origine de dysfonctionnements

L'essentiel...

- Les aménagements des rivières et des bassins versants altèrent et perturbent le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau et dégradent les hydrosystèmes fluviaux.
- Les altérations hydromorphologiques expliquent bien souvent une grande part de la mauvaise qualité biologique constatée des cours d'eau. En conséquence, la résorption des principales pollutions chimiques bien connues ne suffit généralement pas à retrouver le bon état requis par la directive cadre sur l'eau.

Le développement industriel et agricole ainsi que les différentes politiques d'aménagement du territoire menées depuis plus d'un siècle expliquent l'altération de la qualité chimique et écologique des milieux aquatiques observée aujourd'hui. Une grande partie des détériorations des habitats fluviaux résultent de la modification de la morphologie et des processus hydromorphologiques des cours d'eau.

Les principales sources du désordre sont les modifications des régimes hydrologiques par la chenalisation des rivières (recalibrage, rectification, endiguement) et la présence de seuils ou de barrages, ou celles liées aux activités sur le bassin versant (agriculture intensive, artificialisation du territoire) et aux extractions de granulats. Par nature, ces aménagements et usages dégradent les habitats des cours d'eau et de la plaine alluviale et diminuent les capacités de résilience de l'écosystème ; ils suppriment aussi les possibilités de réajustement morphologique du cours d'eau pourtant nécessaires au bon fonctionnement écologique des rivières.

Un fonctionnement hydromorphologique perturbé augmente singulièrement le risque de non-atteinte du bon état écologique exigé par la directive cadre sur l'eau (DCE) comme l'a montré l'état des lieux réalisé dans chaque bassin hydrographique en 2004 ¹.

L'altération de la morphologie du cours d'eau, des flux solides et des flux liquides se traduit par des dysfonctionnements perturbant les écosystèmes aquatiques.

Pour plus d'informations sur les pressions exercées sur les milieux aquatiques, voir :

- Biotec, Malavoi J-R. (2007). *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*, Agence de l'eau Seine-Normandie. ²
- Wasson J-G., Malavoi J-R., Maridet L., Souchon Y., Paulin L. (1995). *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières*: 152.

L'altération de la morphologie

L'altération de la structure physique du cours d'eau peut se traduire par différentes modifications.

■ La modification de la morphologie et du profil en long

La modification de la morphologie, suite à des travaux de recalibrage, rectification et rescindement de méandres ou de sinuosités conduit à :

- **un surdimensionnement du lit du cours d'eau** qui induit une diminution de la hauteur d'eau et une augmentation dans certains cas de la température de l'eau, aggravant ainsi les phénomènes d'eutrophisation ;
- **une dénaturation du substrat du fond du lit** : la granulométrie devient homogène ; les structures d'abris (blocs, roches, sous-berges) et les structures végétales disparaissent, réduisant de fait la capacité auto-épuratrice du cours d'eau ;
- **une réduction de la longueur du cours d'eau** qui engendre toute une cascade de phénomènes : accentuation de la pente, et donc augmentation des vitesses d'écoulement ; érosion des berges, érosion progressive, érosion régressive et encaissement du lit (incision) ; dégradation des habitats du fond du lit du cours d'eau ; diminution de la fréquence de débordement, et donc déconnexion des annexes hydrauliques.

La modification de la morphologie du cours d'eau diminue la capacité d'accueil pour la faune et la flore aquatiques. Certaines espèces, les plus sensibles et les moins ubiquistes, sont éliminées. La compétition entre les espèces restantes, voire entre les stades de développement d'une même espèce, est augmentée.

1 - Voir http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique188&id_article=459

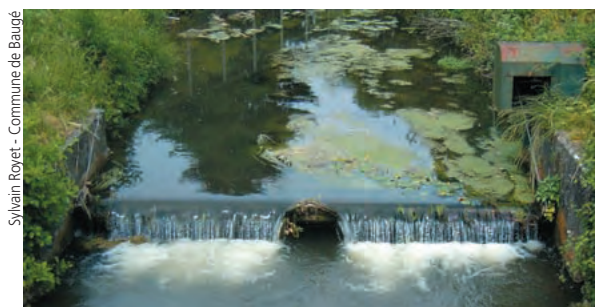
2 - Voir http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Collectivite/HYDROMORPHO/02Guide_terrain.pdf

La modification du profil en long par la présence d'un ou plusieurs seuil(s) ou barrage(s), altère :

- les faciès d'écoulement : le stockage plus ou moins temporaire dans la retenue transforme les radiers et plats courants naturels à l'amont de l'ouvrage en faciès d'eau calme : cette situation favorise le réchauffement des eaux et le développement d'algues dans la retenue ;
- les frayères, associées aux faciès courants, qui sont noyées par l'augmentation de la hauteur d'eau.

La structure du peuplement originel s'en trouve également modifiée :

- les cortèges caractéristiques des substrats grossiers sont remplacés par des peuplements adaptés aux substrats fins et organiques. Ces conditions favorisent le développement d'algues ;
- les invertébrés polluo-résistants deviennent dominants ;
- les peuplements piscicoles sont perturbés ; les espèces caractéristiques d'eau vive sont remplacées par des espèces typiques d'eau calme.



Sylvain Royet - Commune de Baugé

Seuil sur un cours d'eau (développement excessif d'algues dans la retenue du seuil).



Michel Barnard - Onema

Homogénéisation des faciès d'écoulement dans la retenue d'un seuil.



Corinne Forst - Onema

Exemples de cours d'eau dont la morphologie est altérée. À gauche : cours d'eau rectifié et bétonné (réduction de la hauteur d'eau, rupture des échanges avec la nappe d'accompagnement et le lit majeur, eutrophisation du cours d'eau et faciès d'écoulement homogènes). À droite : cours d'eau recalibré (faciès d'écoulement uniforme, début d'incision du lit).



Johann Moy - Ministère de l'écologie

■ La stabilisation des berges et les endiguements

La stabilisation des berges et les endiguements figent le cours d'eau et modifient sa dynamique naturelle d'érosion latérale. Les protections de berges bloquent l'érosion latérale localement, la favorisent en aval de l'aménagement ou sur le fond du lit ; ceci augmente en général le risque d'incision du lit mi-

neur. Les habitats disponibles et leur dynamique de régénération s'en trouvent réduits, ce qui appauvrit le potentiel biologique du cours d'eau.

Les impacts écologiques dépendent beaucoup des techniques et des matériaux employés. Ils sont plus importants lorsque les matériaux utilisés sont inertes.



Jacques Fortoul - Onema



Michel Barnard - Onema



Vincent Burgun - Onema

Exemples de cours d'eau dont les berges sont stabilisées. De gauche à droite, stabilisation des berges du cours d'eau par du béton, par des palplanches et par des enrochements.

■ La dénaturation et la suppression du corridor rivulaire

La ripisylve joue un rôle important pour le fonctionnement du cours d'eau. Sa dénaturation ou sa suppression déstabilise et appauvrit les écosystèmes fluviaux. En effet :

- elle favorise l'arrivée de polluants et de particules fines dans le cours d'eau ;
- elle réduit ou supprime ses fonctions de source de nourriture, d'abris, de diversification biologique, de régulation thermique du cours d'eau et de corridor pour le déplacement des espèces ;

- elle augmente l'éclairement du cours d'eau. Or, l'alternance de zones éclairées et de zones ombragées est bénéfique au cycle de développement d'espèces de poissons comme la truite commune ;
- elle favorise le développement d'espèces exotiques allochtones ;
- elle modifie les conditions physico-chimiques du milieu, déstabilise les berges, uniformise les strates de la végétation lorsque la ripisylve plantée n'est pas adaptée comme les résineux ou la peupleraie.



Vincent Burgun - Onema



Henri Carmé - Onema



Michel Barnard - Onema

Exemples de cours d'eau sans ripisylve ou présentant une ripisylve non adaptée. À gauche, absence de végétation rivulaire naturelle favorisant l'apport dans le cours d'eau de sédiments fins provenant du bassin versant. Au centre, absence de ripisylve favorisant le piétinement des berges par le bétail et le colmatage du cours d'eau. À droite, plantation de peupliers en bord de cours d'eau (espèce non adaptée, ripisylve homogène et non diversifiée).



Vincent Burgun - Onema



Vincent Burgun - Onema

Exemples d'un cours d'eau forestier : le ruisseau des Noires Fagnes (Vosges). À gauche, à l'amont du cours d'eau, la ripisylve est adaptée : développement d'une strate herbacée. À droite, à l'aval du cours d'eau, la ripisylve constituée de résineux n'est pas adaptée : incision du lit due au système racinaire superficiel des résineux ne permettant pas le maintien des berges ; absence de végétation herbacée et arbustive (hormis le développement de mousses) en raison d'un manque de lumière sous la canopée et d'une acidification du sol par les aiguilles des résineux.

L'altération des flux solides

Les altérations du transport solide se traduisent par un excès ou un déficit en débit solide.

■ Le blocage de la charge solide

Le blocage de la charge solide en amont d'un ouvrage transversal, seuil ou barrage, ou dans une gravière réduit les apports en aval ce qui favorise l'érosion du fond du lit et des berges. Selon l'importance du

phénomène (piégeage d'une fraction de granulats plus ou moins fins), on assiste à des phénomènes d'incisions et de pavage en aval de l'ouvrage et à des phénomènes d'enlèvement d'une portion du lit en amont.



Jean-René Malavoi - Onema



Johann Moy - Ministère de l'écologie



Véronique de Billy - Onema

Exemples de cours d'eau dont la charge solide est bloquée en amont d'un ouvrage. À gauche, stockage des matériaux en amont d'un ouvrage. Au centre, blocage des granulats en amont de l'ouvrage et apparition de la roche mère en aval. À droite, apparition de la roche mère en aval d'un ouvrage lié à un déficit en matériaux solides restés stockés en amont de l'ouvrage.

Les habitats du fond du lit s'en trouvent dégradés, ce qui entraîne la disparition des espèces qui leur sont inféodées, telles que certains macro-invertébrés et les salmonidés et cyprinidés d'eaux vives (disparition des zones de reproduction).



Michel Bramard - Onema

De plus, les annexes hydrauliques et les affluents en aval de l'ouvrage, du fait de l'incision, se retrouvent alors perchés par rapport au cours d'eau et donc déconnectés de ce dernier.



Michel Bramard - Onema

Exemples de cours d'eau incisés par manque de débit solide. À gauche, début d'incision du cours d'eau. À droite, enfoncement du lit du cours d'eau d'environ 1,50 mètres.

■ L'apport diffus et permanent de sédiments fins

L'apport diffus et permanent de sédiments fins dans le cours d'eau provoque un colmatage minéral du substrat alluvial grossier qui a pour conséquences de :

- dégrader fortement les habitats du fond du lit et détruire les supports de ponte pour de nombreux poissons ainsi que les habitats de certains macro-invertébrés ;

- impacter, dans certains cas, les processus d'érosion en limitant, voire en empêchant, la mobilisation des alluvions grossières lors des crues ;

- étanchéifier, sous certaines conditions de nature des alluvions, le fond en supprimant les écoulements hyporhéïques et les échanges avec la nappe d'accompagnement.



Vincent Burgun - Onema



Corinne Forst - Onema



Michel Bramard - Onema



Matthieu Chausseau - Onema

Exemples de cours d'eau dont le substrat du fond du lit est colmaté. De gauche à droite : petit cours d'eau de plaine fortement colmaté par l'apport de fines ; graviers de cours d'eau de tête de bassin colmatés ; galets grossiers colmatés.

Exemple de substrat non colmaté.

L'altération des flux liquides

Les altérations des flux liquides se traduisent par une augmentation ou une diminution du régime des eaux et conduisent à des situations problématiques pour le fonctionnement du cours d'eau.

■ La diminution du débit sur une partie du cours d'eau

La diminution du débit sur une partie du cours d'eau par la présence d'ouvrage de stockage, d'une dérivation, ou par des prélèvements directs en eau (irrigation, industriels, alimentation en eau potable), participe à :

- l'abaissement de la ligne d'eau qui restreint les habitats disponibles pour la faune aquatique, spécia-

lement les plus exigeantes comme les communautés et espèces rhéophiles. Cet abaissement favorise aussi la concentration des polluants et la hausse de la température de l'eau, augmentant ainsi le risque d'eutrophisation ;

- l'aggravation des étiages qui peut conduire à un assec du cours d'eau.

Henri Carmié - Onema



Henri Carmié - Onema

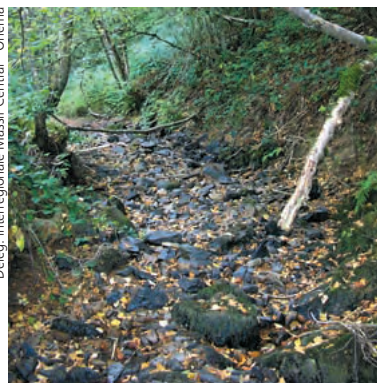


La Loire, 200 mètres en amont (à gauche) et en aval immédiat du barrage de Lapalisse (à droite). Photographies prises le même jour. À droite, le débit réservé laisse hors d'eau des frayères potentielles.

Johann Moy - Ministère de l'écologie



Déleg. interrégionale Massif Central - Onema



Sébastien Mammé - Onema



Exemples de cours d'eau asséchés. De gauche à droite : en montagne, en zone intermédiaire et en plaine.

■ La diminution des débits de crue fréquente (temps de retour 1 à 3 ans)

La diminution des débits de crue fréquente par la retenue des eaux en amont d'un barrage ayant une fonction d'emménagement et d'écrtage de crues perturbe la dynamique du cours d'eau en :

- empêchant les réajustements morphogènes du lit à l'aval de l'ouvrage. La remobilisation des sédiments alluvionnaires est réduite et les bancs alluviaux autrefois mobiles se fixent par végétalisation. Le risque de colmatage du substrat grossier est augmenté ;
- limitant la fréquence de submersion des terres riveraines. Les recharges de la nappe alluviale sont

réduites. La limitation des connexions entre le chenal et le lit majeur aboutit à la perte de fonctionnalité des annexes hydrauliques, voire à leur disparition.

Les biocénoses strictement inféodées aux zones humides disparaissent ; celles dont une partie du développement dépend de ces milieux, peuvent elles-aussi disparaître ou être affaiblies.

■ L'augmentation des débits de crue fréquente

L'augmentation des débits des crues fréquente en aval d'un secteur chenalisé, qui réduit les débordements en lit majeur, conduit à des modifications morphologiques généralement non désirées et mal acceptées. Par exemple, les érosions de berges sont favorisées, ce qui pousse à des interventions drastiques correspondant presque toujours à une artificialisation supplémentaire du milieu.

Corinne Forst - Onema



Bancs alluviaux, non mobilisables par une crue du fait de la présence d'un ouvrage transversal qui détourne une part significative du débit du cours d'eau. La végétalisation de l'atterrissement est favorisée.

David Monnier - Onema



Érosion de berge liée à un fort débit.

■ La modification discontinue et importante du débit (éclusées)

La modification discontinue et importante du débit induit une modification des habitats. Elle crée des conditions de stress dommageables pour les biocénoses aquatiques. Des essences de bois dur peuvent se développer dans le lit mineur du cours d'eau du fait de l'absence de crue morphogène. Le fonctionnement intermittent assèche des surfaces très importantes de frayères effectives de saumons et de truites communes. Quand les surverses au barrage se produisent, les chenaux créés par le bois dur dans le lit mineur se mettent en eau. Lorsque l'eau se retire, les espèces se retrouvent coincées, ce qui provoque une forte mortalité. Les écluses ont des effets parti-

culièrement brutaux et dévastateurs sur la faune et la flore, non adaptées à ces variations.

Un cas bien documenté est fourni par la moyenne Dordogne, sous le barrage du sablier à Argentat (Corrèze). Son fonctionnement intermittent assèche des surfaces très importantes de frayères effectives de saumons et de truites communes. Les impacts ont été étudiés et chiffrés de manière précise. Ces études ont conduit, au sein du « défi écluses » contractualisé avec l'Agence de l'eau Adour-Garonne, à revoir le mode de fonctionnement pour diminuer les impacts négatifs.

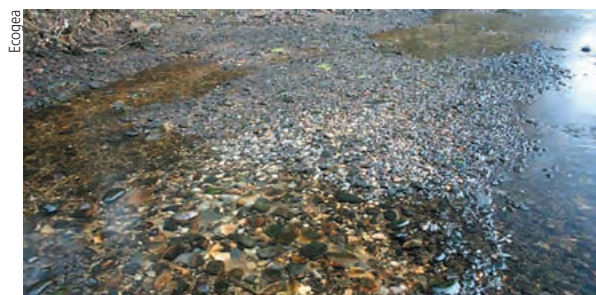


Matthieu Chaneau - Onema



Matthieu Chaneau - Onema

Développement de bois dur dans le lit mineur du cours d'eau du fait de l'absence de crue morphogène. Les chenaux ainsi créés constituent de véritables pièges mortels pour les poissons. À gauche, surverse au barrage, tous les chenaux sont en eau. À droite, diminution des débits : les chenaux en eau lors des surverses au barrage s'assèchent provoquant la mort des espèces piégées.



Ecogea



Matthieu Chaneau - Onema

Assèchement de frayères par le fonctionnement intermittent du cours d'eau déterminé par les écluses. À gauche, dôme de frayère exondée. À droite, frayère totalement exondée.



Les altérations hydromorphologiques³ des cours d'eau sont souvent à l'origine du mauvais état des habitats. La connaissance précise des dysfonctionnements hydromorphologiques observés, ainsi que leur origine permet la mise en œuvre d'actions de restauration globales, cohérentes et durables. Un bon diagnostic de dysfonctionnement permettra la mise en lumière des actions de restauration à réaliser.

Pour certaines masses d'eau, les usages ne peuvent pas être remis en cause pour des raisons économiques ou techniques. Classés en « masses d'eau fortement modifiées » (MEFM), les objectifs écologiques de bon état sont réajustés. Elles devront atteindre le « bon potentiel écologique ». Le bon potentiel écologique nécessite une interprétation technique de chaque État membre de l'Union européenne ; il est en cours de définition en France.

3 - Pour en savoir plus sur l'altération des processus hydromorphologiques, voir :
- Chandèsris A., M. N., Malavoi J.-R., Souchon Y., Wasson J.-B., Pella H. (2007). Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau. Principe et méthodes. Version provisoire v.3.1, Cemagref: 64.
- Biotec, Malavoi J.-R. (2007). Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau, Agence de l'eau Seine Normandie.



Pour plus d'informations sur l'identification des pressions hydromorphologiques voir la fiche « Des étapes et des outils - Les outils de connaissance de l'hydromorphologie des cours d'eau français ».