Apprendre à vivre avec les rivières, une question de géomorphologie

Auteur :
PIEGAY Hervé, Directeur de recherche au CNRS, EVS (Laboratoire Environnement Ville Société), Université de Lyon (site ENS Lyon).

20-09-2018



Comment et pourquoi les lits de rivières évoluent-ils ? A l'interface de plusieurs disciplines, la géomorphologie étudie cet environnement bien particulier et débouche sur des recommandations essentielles. Quelles menaces pèsent sur telle ou telle rivière, sur les quantités de matériaux solides qu'elle transporte, sur son environnement écologique dans la vallée qu'elle irrigue ? Le cas des grands fleuves, comme le Rhône, équipés d'aménagements importants, attire une attention constante. Il amène maintenant les spécialistes à simuler leur évolution en vue d'en promouvoir une gestion durable.

1. Un lit fluvial, c'est quoi ?

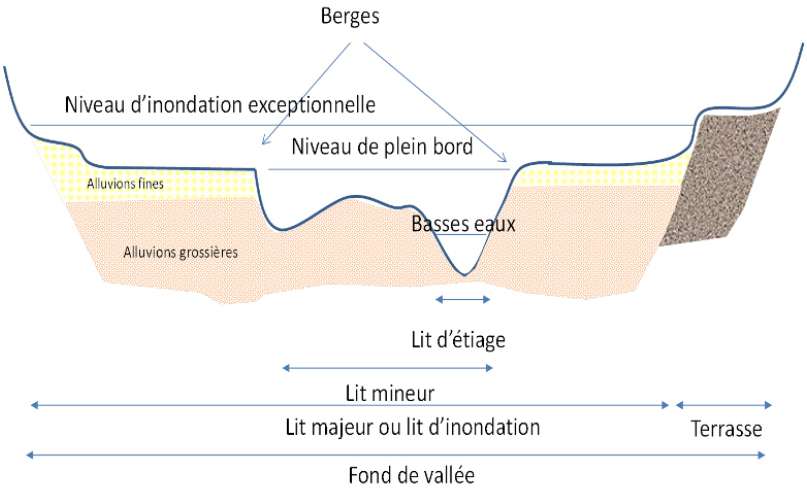


Figure 1. Les différents lits fluviaux et niveaux d'eau associés. [© H.Piegay]

Un cours d'eau se définit généralement comme une masse d'eau en mouvement concentrée dans une géométrie, une forme bien définie, en l'occurrence **un lit fluvial** (figure 1). Le lit d'un cours d'eau est une forme complexe. Le **niveau d'eau** est en effet très variable. Le **lit mineur** concentre des écoulements l'essentiel du temps**.** Il est limité par deux talus topographiques bien marqués que sont les berges. Il peut abriter un lit plus petit, le **lit d'étiage**, qui véhicule les plus basses eaux. Si les berges sont abruptes, le lit d'étiage et le lit mineur se confondent. Sinon le lit mineur présente à l'étiage **un lit mouillé** et des bancs de **sédiments exondés**. En période de hautes eaux, voire de crues, la rivière déborde dans un lit plus large**, le lit majeur ou lit d'inondation** dont les limites externes sont définies arbitrairement comme étant celles des plus hautes eaux connues ou d'une crue d'une certaine fréquence (100 ou 200 ans, parfois plus).

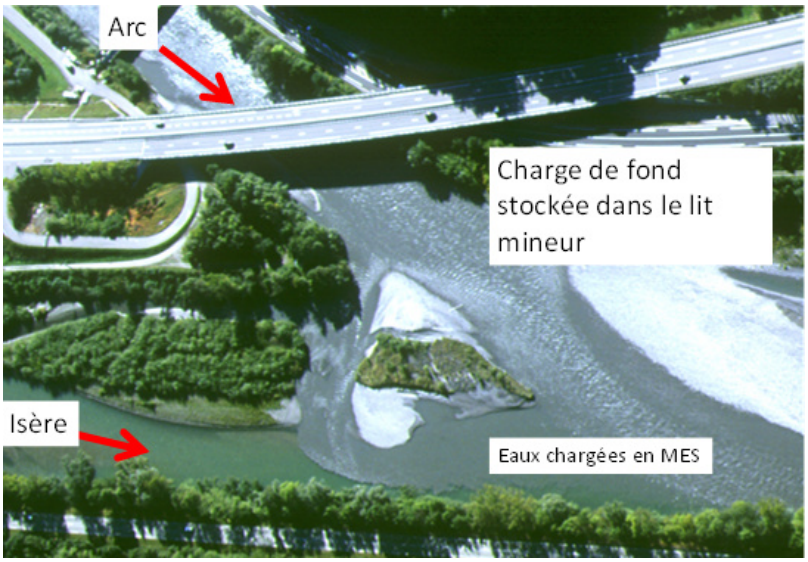


Figure 2. Confluence de l'Arc et de l'Isère. L'Arc apporte à l'Isère de grandes quantités de matières en suspension comme le souligne la couleur de ses eaux. L'Isère présente des bancs de galets importants qui sont mis en mouvement lors des crues. [source : © EDF]

Le lit ne véhicule pas uniquement de l'eau mais aussi des sédiments et des flottants. Les flottants sont avant tout des matières organiques, des débris végétaux, parfois des troncs d'arbres. Lorsqu'ils se déposent dans le lit ou parfois contre des ouvrages, ils peuvent former **des embâcles** qui influencent les écoulements et **peuvent provoquer des dommages**. Les **matières en suspension**, bien souvent constituées d'argiles, de limons, voire de sables, peuvent transiter dans l'eau alors que la **charge de fond plus grossière**, principalement des sables, des graviers et des galets, parfois des blocs, est charriée sur le fond (figure 2). C'est dans cette charge de fond que la rivière dessine son lit mineur et forme des bancs de sédiments. Le lit majeur s'exhausse généralement grâce aux sédiments plus fins qui arrivent en suspension et se déposent par décantation. Les plaines alluviales sont ainsi bien souvent sableuses et limoneuses.

Sédiments et flottants se déplacent vers l'aval à des vitesses variables. La charge de fond peut ne pas bouger ou très rarement. Dans les rivières de montagne, elle peut se déplacer beaucoup plus fréquemment et plus loin, parcourant plusieurs

centaines de mètres lors d'une crue. En revanche les matières en suspension ou les flottants vont parcourir plusieurs centaines de km pendant le même événement. **Ce transport solide est régi par les propriétés physiques de la masse d'eau**, notamment les vitesses d'écoulement qui maintiennent les particules en suspension, évitant leur dépôt, ou encore les forces tractrices ou tensions de frottement qui permettent la mise en mouvement et le transport des sédiments les plus grossiers sur le fond.

Il existe une **variété de lits fluviaux** en fonction de la pente et du débit qui contrôlent la **puissance du courant et de la charge sédimentaire transportée**. L'environnement géologique traversé influence aussi les caractéristiques des lits fluviaux en jouant sur leur résistance. **Le lit peut être dessiné dans les sédiments qu'il transporte (lits alluviaux) ou dans la roche en place (lits rocheux)**.

Le lit a du style ! Le style fluvial correspond au tracé en plan du chenal. Le chenal peut être figé ou au contraire plus mobile dans sa plaine, les processus d'érosion, de dépôt et de transport des sédiments étant alors plus actifs. Cette **sensibilité au mouvement** est liée au fait que le cours d'eau a de l'énergie et que son lit est peu résistant.

Le cours d'eau peut être à chenal unique et plus ou moins sinuer, allant jusqu'à former des **méandres,** de grandes courbes dans la plaine (figure 3). Lorsque la rivière présente un lit sinueux ou à méandres, les vitesses de l'écoulement sont alors dissymétriques dans le chenal. Fortes en berges concaves, elles favorisent leur érosion. Plus faibles en rive convexe, elles favorisent la formation d'un banc qui résulte du dépôt des sédiments arrachés à la berge concave immédiatement amont. Sur les rivières à méandres des zones de piémont comme l'Allier[1] ou l'Ain, cette **dynamique de méandrage** est **active** car la pente est encore marquée, et le chenal se déplace ainsi dans sa plaine.



Figure 3. A gauche, l'Ain dans sa basse vallée, une rivière à méandres dont la mobilité en plan est restitué par la végétation riveraine [source : © S. Dufour]; A droite, la Bléone au pont de chaffaut. [source : © F. Liebault]

Ce **mouvement** qui **peut atteindre plusieurs mètres par an** est bien retranscrit par la végétation riveraine qui s'installe progressivement sur les milieux nouvellement créés. Elle se caractérise par des unités paysagères distinctes, de plus en plus âgées au fur et à mesure que l'on s'éloigne du banc de convexité. Le cours d'eau peut aussi être composé de chenaux multiples. **Lorsque la charge de fond est très abondante**, il ne peut pas facilement l'évacuer et forme des **tresses**. Le style en tresse est typique des rivières alpines. L'eau chemine alors dans plusieurs chenaux au sein d'un lit mineur dominé par les bancs de galets (figure 3)

La rivière est aussi **une mosaïque d'écosystèmes** (masse d'eau, milieux riverains, compartiment souterrain). C'est également **un espace géographique qui appartient à quelqu'un**, à une personne privée, à une commune, et à l'État pour les plus grands. La rivière présente des ressources particulières (granulats, eau, hydroélectricité). C'est un espace sur lequel s'exercent **des usages** (pêche, navigation, loisirs) et où il existe parfois **des conflits** (partage de l'eau, choix d'aménagement). C'est également une **zone à risques** (pollution, inondation, érosion de berges). Les enjeux sont plus ou moins complexes selon la géomorphologie de la rivière, la taille de la plaine alluviale, la dynamique de renouvellement des milieux, la sensibilité du chenal au changement.

2. Du lit fluvial à la géomorphologie fluviale

La **géomorphologie fluviale** s'intéresse à la géométrie, **aux formes** au sein desquelles l'eau, les sédiments et les flottants transitent mais aussi **aux processus d'érosion, de dépôt et de transport des sédiments** qui régissent ces formes (Lire Focus 1, Qu'est-ce que la géomorphologie).

Les premiers travaux ont ainsi montré que le lit mineur est avant tout conditionné par les crues courantes. Ceci a donné lieu à un champ de recherche autour de la géométrie hydraulique à la suite de travaux conduits par Leopold et Wolman. Ces auteurs sont bien souvent considérés comme les pionniers du domaine. L'ouvrage « *Fluvial Processes in Geomorphology* »[2], édité pour la première fois en 1964, est ainsi une référence. Le **débit** qui façonne le lit mineur ou débit **morphogène** est depuis considéré comme le **débit à plein bord**, c'est-à-dire le débit qui déborde tout juste par-dessus les berges et dont la période de retour est de 1 à 2 ans. Le **lit d'un cours d'eau alluvial est ainsi façonné par des crues courantes et non des événements exceptionnels**.

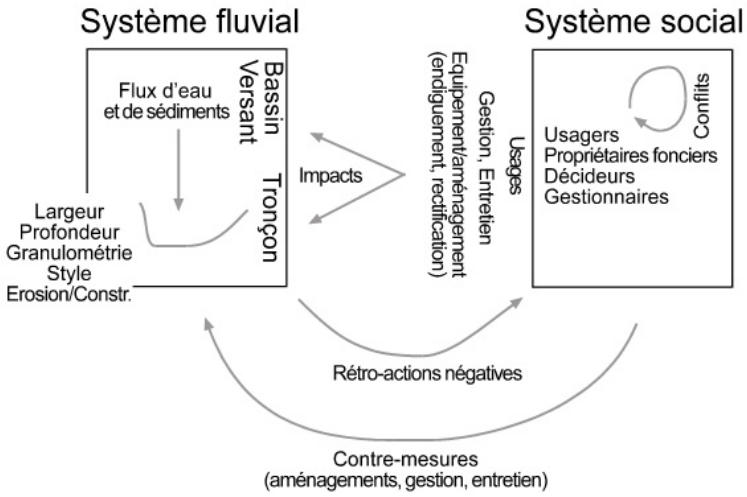


Figure 4. Représentation simplifiée du système fluvial (à gauche) avec ses deux niveaux d'échelle (le tronçon fluvial et son bassin versant amont) et les paramètres élémentaires en interaction, à la fois amont (les paramètres de contrôle) et aval (les paramètres d'ajustement). L'évolution de ce système fluvial est étroitement liée au système d'acteurs. [© H.Piegay]

Ces approches ont renouvelé la vision que l'on avait d'un lit fluvial. La géomorphologie fluviale s'inscrit ainsi aujourd'hui dans **une perspective systémique** (Voir le Focus 2, Différentes branches au sein de la géomorphologie) (figure 4). Cette école de pensée a notamment été portée par S. Schumm, dont l'ouvrage "*the fluvial system*"[3] publié en 1977 est également une référence. Le concept d'hydrosystème[4] qui découle de l'approche systémique a contribué à promouvoir des passerelles avec l'écologie et à introduire la géomorphologie fluviale hors du champ académique. La directive cadre européenne sur l'eau (DCE) [5] qui date de 2000 fait ainsi référence à l'hydromorphologie, tout comme les SDAGE[6] (Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion de l'Eau) publiés en France depuis 1997 pour orienter et planifier la politique de l'eau dans les différents grands bassins fluviaux.

Longtemps considéré comme une entité physique régie par l'eau et les sédiments, conditionnée par des contrôles amont (sources sédimentaires et cycle hydro-climatique du bassin versant et leurs perturbations anthropiques), **le lit fluvial présente aussi une composante biologique qui influence sa forme** (Lire Paysage alluviaux alpins et biodiversité)

Un lit est le résultat d'un équilibre complexe **entre les forces de l'écoulement** et des **forces de résistance.** L'énergie de l'eau dépend principalement de la **hauteur d'eau** et de la **pente** du chenal. **La résistance du lit** dépend de **la taille des sédiments** qui constituent ce lit. Ceux-ci sont plus ou moins lourds, cohésifs, imbriqués, et donc plus ou moins difficiles à déplacer par l'écoulement, à éroder. La résistance dépend aussi de la **végétation** vivante et morte présente dans le lit et sur ses marges. Les systèmes racinaires sont plus ou moins efficaces pour armer les berges, retenir les sédiments et limiter ainsi l'érosion.

La dynamique de colonisation et de croissance des végétaux est aussi un facteur important qui contrôle la résistance d'un lit fluvial. La compétition entre les espèces ou encore les mécanismes d'invasion biologique peuvent favoriser des individus qui peuvent être plus ou moins résistants aux écoulements. Ces facteurs sont autant de **mécanismes écologiques et biologiques** qui **expliquent que la forme d'un cours d'eau n'est pas qu'une question de physique.** C'est notamment le cas des milieux tempérés où la dynamique végétale est active et où les actions humaines influencent beaucoup cette dynamique. On pense bien évidemment aux déboisements qui peuvent complétement déstabiliser les versants, augmenter significativement les apports sédimentaires aux cours d'eau et profondément transformer leur géométrie. Des lits uniques, stables et sinueux peuvent ainsi céder le pas dans la plaine à des lits en tresses très mobiles.



Figure 5. L'Ubaye, affluent de la Durance à la confluence avec la Gimette en 1895 à gauche [sources : services RTM] et en 1996 à droite. [© H.Piegay]

Les **déboisements** des montagnes néo-zélandaises de l'île du Nord ou des Appalaches américaines sont des exemples à l'origine d'ajustements fluviaux spectaculaires, largement décrits dans la littérature scientifique. La **déprise agricole et pastorale** qui a touché les montagnes européennes au milieu du 20e siècle est un autre exemple tout aussi spectaculaire. Le **reboisement** des bassins versants et des plaines alluviales résultant de cette déprise a contribué à **réduire les apports sédimentaires** vers l'aval, à **favoriser l'enfoncement du chenal et une déconnexion des bancs de galets**. Ceux-ci étant moins souvent inondés et remobilisés ont enregistré une forte végétalisation par des saules et des peupliers. Ceci a contribué dans certains cas à la **disparition du tressage, un style emblématique des rivières alpines**[7] (figure 5). (Lire Paysage alluviaux alpins et biodiversité). L'effet de la colonisation des rivières de l'ouest américain (Utah, Arizona), par le Tamaris [8], espèce invasive introduite au milieu du 19e siècle, est aussi un cas largement décrit qui a conduit à une rétraction spectaculaire des lits fluviaux.

3. Géomorphologie, gestion des risques, qualité environnementale et développement durable



Figure 6. Deux exemples d'évolution d'un lit fluvial et ses conséquences au niveau d'un pont : à gauche l'enfoncement du lit peut conduite à déstabiliser l'ouvrage [Pont des Chaines à Die, ©F. Liebault, IRSTEA-ETNA], à droite l'exhaussement obstrue la section et peut favoriser localement des débordements. [© H.Piegay]

Les services publics chargés de **la gestion des risques**[9] **fluviaux** prennent de plus en plus en compte les dynamiques géomorphologiques (voir Focus 3). Les ouvrages de protection sont installés dans des **environnements changeants** alors même qu'ils sont fixes. Ces changements peuvent ainsi les déstabiliser. Ces changements sont également à l'origine d'une évolution insidieuse de l'aléa[10] (inondation, érosion). Une rivière peut devenir plus mobile au cours du temps et donc éroder davantage ses berges. Ceci peut être lié au fait que les berges sont moins résistantes, car elles ont par exemple été dévégétalisées.

Le régime de crue peut également avoir changé. Les crues sont plus fréquentes car le bassin versant est devenu moins perméable du fait de l'urbanisation. Cette urbanisation favorise les écoulements de surface, une concentration plus rapide de ces écoulements vers l'aval et des crues alors plus intenses. Si **le lit s'approfondit ou au contraire s'exhausse, s'il se rétracte ou s'élargit**, il peut ainsi poser des problèmes pour la stabilité des ouvrages. Il peut aussi enregistrer une évolution de sa capacité d'écoulement avant débordement et la fréquence d'inondation de la plaine peut ainsi elle-même évoluer (figure 6). Longtemps considéré comme invariant, l'aléa évolue et explique parfois une augmentation du risque d'inondation ou d'érosion auquel sont soumises les populations.



Figure 7. Le Doubs au niveau de Fretterans : en 1940, il forme une belle rivière sinueuse avec des bancs de galets soulignant un transport solide actif. Dans les années 1990, après plusieurs années d'une intense activité extractive, son lit est devenu une vaste zone lacustre interrompant pour plusieurs décennies le transit des sédiments [Source : © Géoportail, IGN]

L'impact des extractions de granulats sur la géométrie de la rivière (figure 7), l'exercice de certains usages et la stabilité de certains aménagements a conduit en 1994 à interdire ces extractions en lit mineur[11].

Ceci a ouvert la voie à la reconnaissance d'un **espace de liberté**[12] pour les cours d'eau**.** Cet espace vise à **satisfaire à long terme les usagers** et assurer un **développement territorial** tout en protégeant cette infrastructure naturelle qu'est la rivière. C'est un outil opérationnel du développement durable. La compréhension du fonctionnement de certains cours d'eau a ainsi permis de réhabiliter **l'érosion latérale**, longtemps considérée comme un fléau à combattre. Cette érosion est aujourd'hui perçue comme une opportunité, un **moteur écologique et paysager**, garant d'une qualité environnementale et d'une attractivité territoriale (figure 8).

L'espace de liberté a ouvert la voie à l**'espace de bon fonctionnement**[13]. Cette nouvelle enveloppe est définie dans le SDAGE Rhône-Méditerranée[14] de 2016-2021 Il s'agit véritablement d'un outil de planification des interventions humaines (aménagement, restauration, entretien, préservation). Il permet aux acteurs locaux de s'adapter au caractère dynamique de la rivière et de **bénéficier au mieux de tous les atouts fournis par cette infrastructure naturelle**. Cette adaptation au fonctionnement des systèmes fluviaux, est en résonance avec l'adaptation des sociétés humaines que l'on évoque aujourd'hui pour faire face aux conséquences du changement climatique.



Figure 8. L'Ain, une mobilité latérale active, garante d'une biodiversité végétale exceptionnelle. Une rivière pionnière en matière de conservation de son espace de mobilité. [Source : R. Montagnon pour UMR 5600 EVS]

L'eau superficielle est bien souvent associée à une **nappe souterraine**, véritable réservoir pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation. Il existe également des échanges entre cette nappe et l'eau superficielle drainée par la rivière. Ces échanges sont à l'origine d'habitats aquatiques d'une grande richesse écologique. Ils sont parfois extrêmement importants pour certaines espèces lors des périodes chaudes. Les arrivées d'eau de la nappe constituent des poches d'eau froide en été dans la rivière. Elles constituent alors des **refuges thermiques** très importants pour **la truite** par exemple. Une bonne partie de ces habitats résulte en fait d'un fonctionnement géomorphologique particulier avec des alternances de biefs profonds (mouilles) et peu profonds (seuils) dessinés dans la charge de fond. **La mobilité des sédiments** permet de limiter le colmatage des fonds en les brassant à intervalle régulier. Cette mobilité maintient aussi **les échanges d'eau entre les deux compartiments**.

L'interruption du transport solide ou la simplification du fond du lit peuvent altérer ce fonctionnement et avoir **un impact direct sur la richesse écologique** de la rivière. Ce fonctionnement est également **très important pour la filtration naturelle** de l'eau et permet ainsi d'assurer une certaine autoépuration vis-à-vis notamment des nitrates d'origine agricole. Si ces changements s'accompagnent d'un enfoncement du lit, l'impact sur le réservoir phréatique adjacent peut être également conséquent. Il est courant que certaines communes, riveraines de cours d'eau qui s'enfoncent, aient eu à approfondir leur puits de captage afin de pouvoir répondre à la demande en eau. La raréfaction de la ressource en eau provoque aussi des tensions entre les usagers (pêcheurs, irrigants, industriels).

4. La géomorphologie au service du Rhône et de ses riverains

De plus en plus d'équipes scientifiques s'organisent pour suivre **l'évolution des grands fleuves** et répondre à des questions parfois complexes. C'est le cas du Colorado, du Mississippi mais aussi en Europe, du Rhin, du Danube ou encore du Rhône sur lequel un **Observatoire des Sédiments du Rhône**[15] a été créé il y a 10 ans.

Les questions sur le Rhône sont multiples. Elles intéressent les usagers, les collectivités locales riveraines, l'État, l'Agence de l'eau, et les grands opérateurs, la CNR (Compagnie Nationale du Rhône) et EDF. Est-il possible d'alimenter par des apports sableux fluviaux le delta de la Camargue, voire les plages languedociennes qui reculent sous l'effet de l'érosion marine? Les barrages établis tout au long de son cours se remplissent-ils en sédiments ? Ceci a-t-il des incidences sur leur gestion ou sur d'autres compartiments du corridor fluvial? Est-il possible d'améliorer l'état écologique du fleuve après un siècle d'aménagements pour le rendre navigable et produire de l'hydro-électricité ? Est-il possible d'améliorer également sa capacité d'écoulement en l'élargissant afin de se prémunir de l'inondation? Y-a-t-il un risque de réintroduction dans le fleuve de contaminants stockés depuis un siècle dans les sédiments de son lit majeur ? Autant de questions sur lesquels travaillent aujourd'hui les chercheurs de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), géomorphologues, hydrauliciens, géochimistes. L'objectif est de **déterminer la trajectoire évolutive du fleuve, comprendre son fonctionnement, évaluer son transport solide, simuler ses évolutions,** et in fine répondre à ces questions.

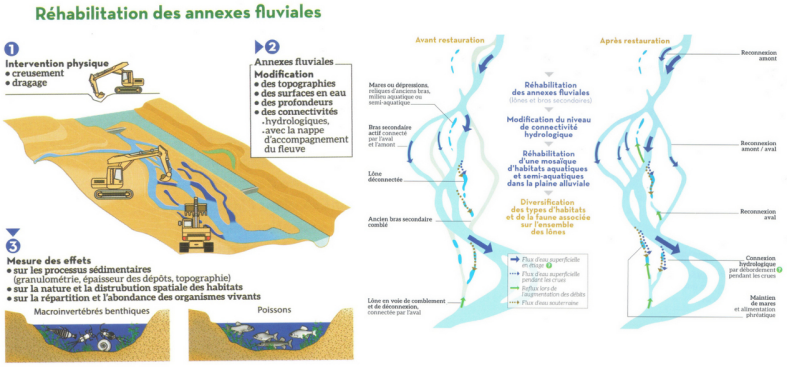


Figure 9. Exemple de travaux de restauration conduits sur le Rhône [source : Programme RhonEco, libre de droit]

C'est un travail au long cours, sur un linéaire de près de 500 km qui draine un bassin versant de près de 100 000 km^2. **La géomorphologie aujourd'hui se fait de manière collective, organisée, structurée**, les données sont partagées, les résultats sont publics et discutés. Elle est aujourd'hui en lien avec l'écologie, la chimie, l'écotoxicologie, la sociologie ou encore l'économie et contribue à **une interdisciplinarité permettant d'éclairer les citoyens quant à l'évolution de leur territoire**. C'est le travail de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR)[16] et plus particulièrement de l'Observatoire Homme-Milieu Vallée du Rhône (OHM VR)[17] sur le corridor fluvial de Genève à la Méditerranée.

Dans le cadre du plan de restauration du Rhône engagé depuis les années 1990, les travaux réparatoires ont conduit à reconnecter certains bras secondaires et à recréer des bras morts le long du fleuve afin de diversifier les habitats. Le suivi scientifique de la restauration du Rhône[18] (figure 9) a ainsi permis **d'évaluer la durée de vie de ces bras, de démontrer la pérennité des actions entreprises** et de confirmer la diversité des habitats créés.

Références et notes

Image de couverture. La Drôme dans la réserve des Ramières [© H.Piegay]

[1] http://www.reserves-naturelles.org/val-d-allier

[2] Leopold L.B., Wolman M.G., Miller, J.P. (1964). Fluvial processes in geomorphology. Courier Corporation.

[3] Schumm S.A. (1977). The fluvial system. J. Wiley.

[4] Amoros C., Petts G.E. (1993). Hydrosystèmes fluviaux. Masson, Paris.

[5] http://www.eaufrance.fr/comprendre/la-politique-publique-de-l-eau/la-directive-cadre-sur-l-eau

[6] http://www.gesteau.fr/presentation/sdage

[7] 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, 425–444.

[8] Gaskin J.F., Schaal B.A., (2002). Hybrid Tamarix widespread in US invasion and undetected in native Asian range. Proceedings of the National Academy of Sciences 99, 11256–11259.

[9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque_naturel

[10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%A9a_(risque_naturel)

[11] https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=7C92280118C88D99523A184D3D96E6B0.tpdjo03v_3?idArticle

[12] http://sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-tech-2.pdf

[13] http://www.gesteau.fr/sites/default/files/guide-technique-sdage-rmc.pdf

[14] https://www.eaurmc.fr/le-bassin-rhone-mediterranee/le-sdage-du-bassin-rhone-mediterranee.html

[15] http://www.graie.org/osr/

[16] http://www.graie.org/zabr/index.htm

[17] http://ohm-vr.org/index.php

[18] https://restaurationrhone.univ-lyon1.fr/

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** PIEGAY Hervé (2018), Apprendre à vivre avec les rivières, une question de géomorphologie, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=5672

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
