



Les substrats minéraux des cours d'eau

PRÉSENTATION

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

BIBLIOGRAPHIE

HABITAT & BIODIVERSITÉ

La notion d'habitat

Pour une espèce aquatique, "l'habitat" constitue son milieu de vie. Il repose sur trois paramètres physiques fondamentaux : le support de vie ou le fond, la vitesse du courant et pour certains organismes comme les poissons, la profondeur.

Les espèces ne sont généralement pas inféodées à un seul type d'habitat mais exploitent plusieurs habitats qui leur permettent d'assouvir l'ensemble de leurs besoins vitaux : généralement nourriture, reproduction, abri. Elles peuvent aussi changer d'habitat au cours de leur cycle biologique. Bien évidemment, de nombreux autres paramètres entrent dans la composition de ce que l'on appelle parfois la niche écologique.

Les substrats minéraux des cours d'eau

Les cours d'eau se composent d'une diversité de substrats minéraux, classés selon leur taille.

Nom de la classe granulométrique	Diamètre en mm
Rochers	Dalle
Blocs	> 600
Pierres Grossières	200 - 600
Pierres Fines	100 - 200
Cailloux	20 - 100
Graviers	2 - 20
Sables	0,062
Limons et Argiles	< 0,062

• *Échelle granulométrique de CAILLEUX (1954)*

Ces substrats minéraux jouent plusieurs rôles essentiels dans le fonctionnement des cours d'eau et constituent des habitats pour de nombreuses espèces.

Le transport solide, c'est-à-dire le déplacement dans le cours d'eau de ces sédiments est essentiel au bon fonctionnement des hydrossystèmes fluviaux. Selon l'intensité de l'écoulement, l'eau peut provoquer l'érosion et la mise en mouvement des particules, leur transport ou leur dépôt. Le cycle vital de nombreuses espèces lotiques (vivant dans les eaux courantes), est étroitement lié à un habitat composé en grande partie de ces dépôts alluvionnaires grossiers.

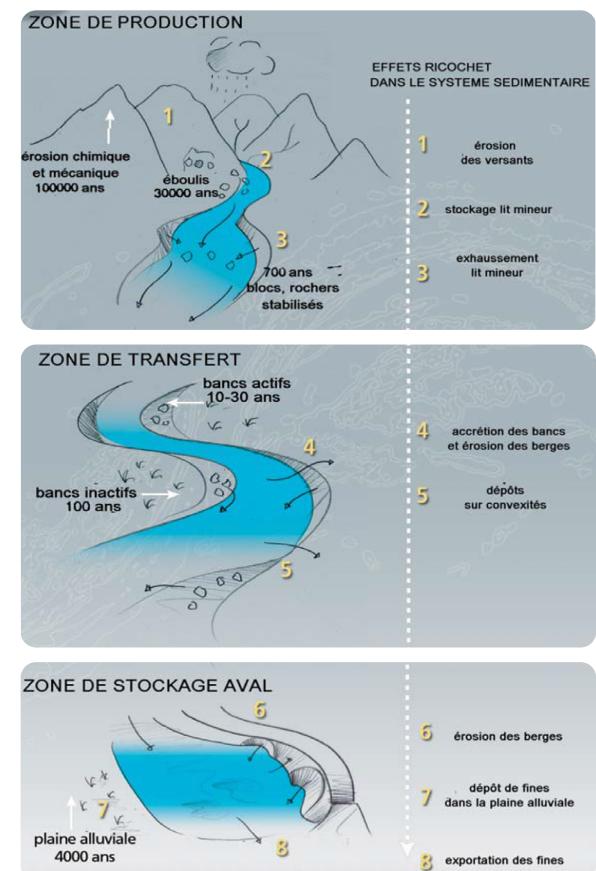


• *Variation de la granulométrie au sein d'un même cours d'eau, ici l'Asse (Maison Régionale de l'Eau)*

Les sédiments présents au fond du cours d'eau peuvent provenir :

- D'une **zone de production** c'est-à-dire, de l'érosion de la roche mère ou de l'accumulation de matériaux meubles venant des versants : écroulements directs, glissement de terrain ou déplacements lents de particules sous l'effet de la gravité. À titre d'exemple, la présence de blocs dans un cours d'eau peut s'expliquer par des effondrements de parois ou peut témoigner d'un régime hydrologique ancien (notamment l'érosion de terrasses anciennes).
- Ce type de production n'apparaît que dans des conditions spécifiques, comme les têtes de bassins montagnards peu ou pas végétalisées, et ne contribuent à la charge de fond des cours d'eau que lorsqu'elles sont étroitement reliées au réseau hydrographique (Malavoi J.R., 2011).
- D'une **zone de transfert et de stockage** : elle correspond aux apports des affluents, eux-mêmes nourris par des matériaux externes venant d'ailleurs, ou internes stockés sur les berges ou les lits majeurs, qui sont progressivement érodés et transportés vers l'aval.

Ces sédiments en mouvement peuvent être temporairement stockés durant leur trajet vers l'aval. Le concept général est présenté sur la figure ci-dessous.



• *Production, transfert et stockage de la charge de fond (Malavoi J.R., et al. 2011). Les chiffres de stockage sont des ordres de grandeur.*



Les substrats minéraux des cours d'eau

PRÉSENTATION

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

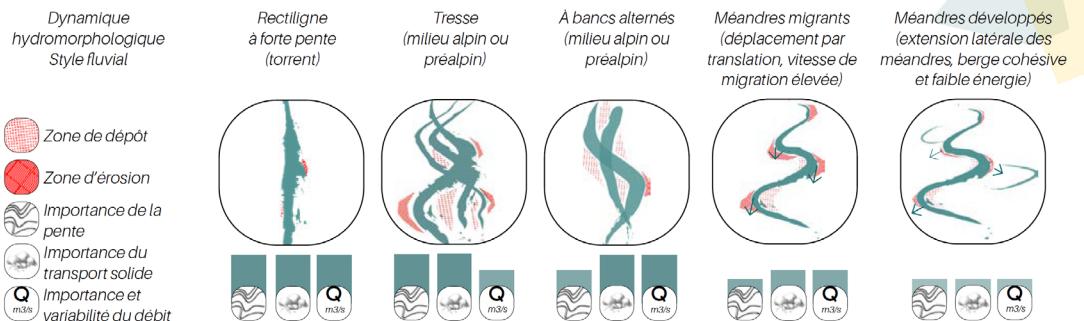
BIBLIOGRAPHIE

HABITAT & BIODIVERSITÉ

Organisation spatiale

La morphologie d'une rivière s'exprime selon trois dimensions spatiales : le profil longitudinal, le profil transversal et la forme en plan du cours d'eau (style fluvial), ainsi qu'à travers la qualité des matériaux constituant son lit. Cette caractérisation permet de différencier les tronçons de cours d'eau selon leur

forme, d'identifier les processus physiques agissant localement sur le transport des sédiments, et enfin d'établir des typologies de tronçons fondées sur divers paramètres physiques. (Camenen B., et al. 2021).



- Zones d'érosion et de dépôt en fonction du style fluvial (Association Rivière Rhône Alpes Auvergne, 2020)

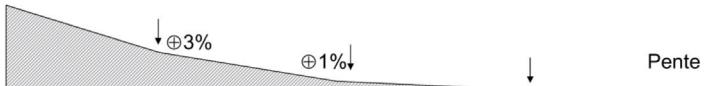
ZONATION LONGITUDINALE

Le transport des produits issus de l'altération s'effectue de l'amont vers l'aval d'un cours d'eau. Ce transport dépend à la fois de la dimension des particules solides et de la vitesse du courant. En amont, notamment dans les torrents de montagne, le courant est rapide, puis il ralentit progressivement en descendant le long des rivières et des fleuves jusqu'à leur embouchure en aval.

Lorsque la vitesse du courant n'est plus suffisante pour maintenir une particule en mouvement comparativement à sa taille, celle-ci se dépose.



Blocs 300mm < D	Cailloux 20 < D < 300 mm	Graviers 2 < D < 20mm	Sable D < 2mm
---------------------------	------------------------------------	---------------------------------	-------------------------



- Évolution de la granulométrie des cours d'eau d'amont en aval, (Recking V.A. 2017).

Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

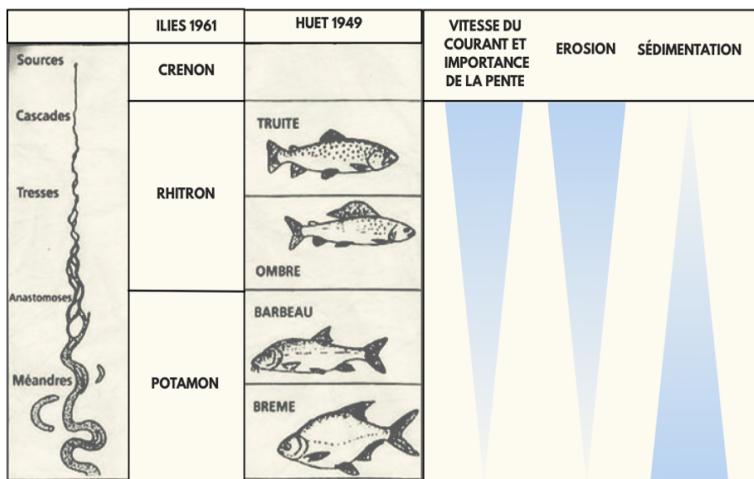
ORGANISATION SPATIALE

Ainsi, dans le **cours supérieur** d'un cours d'eau, au niveau du crénion et du rhitron supérieur (zone de montagne ou colline à pente élevée), la pente est généralement forte, avec une vitesse d'écoulement importante. Les substrats grossiers dominent : blocs, pierres et galets grossiers. Sur ce tronçon de cours d'eau, le transport solide et l'érosion sont importantes.

Dans le **cours moyen** d'un cours d'eau, au niveau du rhitron moyen à inférieur (piémont), la pente est généralement moyenne à faible, l'écoulement est modéré. Les substrats se caractérisent par une alternance de graviers, galets et sables. Sur cette zone, différents faciès apparaissent : radiers et mouilles. Les matériaux fins s'accumulent progressivement dans les zones lentes.

Dans le **cours inférieur**, au niveau du potamon, la pente est très faible, le débit est plus réduit, des méandres se forment. Les substrats sont très meubles : sables, vases, limons et la sédimentation des particules fines s'accentue.

D'une manière générale, en amont, l'énergie élevée du courant favorise le transport de matériaux grossiers et l'érosion tandis que lorsque l'on descend vers l'aval (potamon), les particules transportées deviennent plus fines et la sédimentation prévaut.



• Traduction graphique des zonations de Illiès (1961) et de Huet (1949) extrait du Malavoi J.R. et Bravard J.P., 2010, repris par la Maison Régionale de l'Eau (2025) pour illustrer la tendance générale des processus d'érosion et de sédimentation d'amont en aval d'un cours d'eau.

Deux modes de transport principaux existent : le **charriage** et la **suspension**.

- **Le charriage** correspond à l'ensemble des sédiments se déplaçant sur le fond du lit du cours d'eau par glissement, roulement, ou rebondissement (saltation). Il concerne généralement les sédiments plus grossiers comme les blocs, les pierres, les cailloux, les galets, les graviers et le sable grossier.

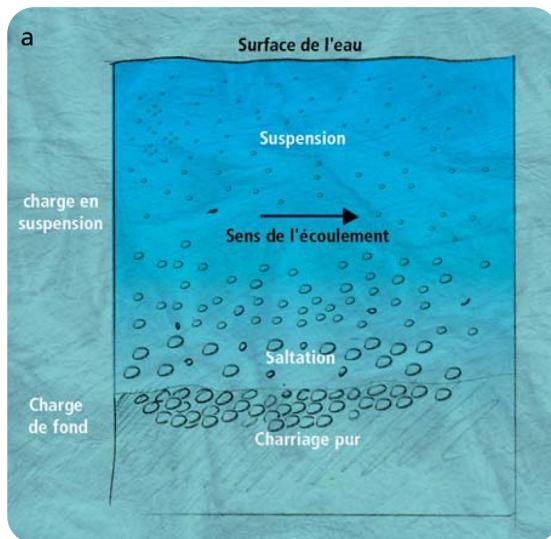
Ceux-ci sont soulevés par la force de l'eau mais sous l'effet de leur poids, ces sédiments grossiers, restent en contact plus ou moins régulier avec le fond du lit.

- **La suspension** correspond à l'ensemble des sédiments se déplaçant dans la colonne d'eau avec une vitesse similaire à celle de l'eau. Ces éléments transportés dans la colonne d'eau, sont appelés **matières en suspension (MES)** et peuvent être de différentes natures (sables, limons, argiles). La turbulence de l'écoulement compense ainsi leur propre poids. La quantité transportée dépend de la vitesse et de la turbulence de l'eau, de la taille et de la densité des particules ainsi que de leur concentration. En général, plus l'écoulement est rapide et turbulent, plus la suspension peut contenir de particules grosses et concentrées.

On peut distinguer la suspension de fond de la suspension de lessivage.

- **La suspension de fond** est caractérisée par un équilibre avec les conditions hydrodynamiques locales ; il s'agit généralement de sable en suspension, dont la concentration est élevée au fond du cours d'eau et diminue rapidement en s'approchant de la surface.

- **La suspension de lessivage** dépend très peu des conditions hydrodynamiques locales. En effet, elle résulte principalement des apports venant de l'amont. Cette suspension, constituée en majorité d'argiles et de limons, peut à l'échelle de la section, être considérée comme globalement homogène (Camenen B., et al. 2021).



Bien qu'il soit fréquemment admis que lors des crues, le transport solide par charriage concerne une grande partie de l'éventail sédimentaire, il est avéré que la granulométrie des matériaux transportés varie en fonction du débit liquide. Ce phénomène, appelé "compétence" de l'écoulement, est lié à la force tractrice. En effet, à mesure que le débit et la pente (et donc la force tractrice) augmentent, la taille moyenne des matériaux transportés croît également. L'étendue granulométrique s'élargit pour les mêmes raisons, avec davantage de classes de taille mises en mouvement (Malavoi J.R. et al. 2011).

- Schématisation sur la colonne d'eau des différents modes de transport solide en rivière (Malavoi J.R. et al. 2011).

Le saviez-vous ?

Les rivières larges comme les rivières en tresses, présentent généralement des sédiments à granulométrie plutôt fine comme des sables, des graviers, voire cailloux. Les sédiments y sont souvent répartis uniformément, et apparaissent moins triés que dans les cours d'eaux étroits. Cela s'explique d'abord par l'absence de contraintes latérales, qui sinon, forceraient les blocs et les fines particules à se déposer dans des zones précises de la section. De plus, le lit est fortement remodelé par des crues successives, qui suivent des trajectoires différentes, contrairement aux lits soumis à des contraintes latérales (Recking V.A., 2017).



• Rivière en tresse (MRE)

DISTRIBUTION À L'ÉCHELLE LOCALE

Plusieurs auteurs ont étudié comment la granulométrie se répartit dans l'espace, en examinant les dimensions longitudinale, transversale et verticale. Ils ont montré que cette organisation est très complexe et dépend de nombreux facteurs locaux. Les principaux sont les conditions d'écoulement (hauteur et vitesse de l'eau) et les caractéristiques des sédiments (taille, forme, densité), qui influencent ensemble le tri des particules. D'autres facteurs comme la variation des apports solides, la forme du lit ou la présence de végétation sur les berges jouent aussi un rôle (Camenen B., et al. 2021).

Certains traits morphologiques reviennent souvent. Les éléments les plus grossiers, tels que les galets et graviers, s'accumulent près du chenal, où le courant est particulièrement fort lors des crues, ce qui favorise leur dépôt. En revanche, les limons se déposent plutôt sur les zones les plus élevées en bordure de la zone inondée, où le courant ralentit. Lors de la décrue, les limons peuvent aussi se déposer près du chenal, mais sont susceptibles d'être remis en suspension lors de la crue suivante. Ainsi, la répartition horizontale des sédiments sur la plaine alluviale suit une zonation similaire à celle observée le long de la rivière, du cours supérieur (rhitron) au cours inférieur (potamon).

La répartition des matériaux selon leur granulométrie présente également un gradient latéral, la distribution des sédiments varie en fonction de la distance à la berge. Leur granulométrie n'est pas la même dans le centre du lit du cours d'eau que sur les berges.



Dans les rivières à graviers et galets, on constate généralement mais pas systématiquement que :

- Sur les bancs de sédiments, les zones les plus élevées, submergées seulement lors de fortes crues, ont généralement une granulométrie plus grossière. Elles contribuent à orienter l'écoulement vers la berge opposée (Recking et al., 2015) ;
- Les marges externes, plus éloignées du lit vif, présentent aussi des sédiments plus grossiers, car elles ne sont recouvertes que lors des crues.

Le saviez-vous ?

À l'échelle locale, on distingue plusieurs habitats (Angelier E. 2000).

- **Les rapides**, sont des segments de rivière à forte pente, où le courant est fort et très turbulent. Ils présentent un substrat grossier instable susceptible d'être déplacé par charriage lors des crues, avec des dépôts fins abrités derrière les blocs.
- **Les radiers**, sont des zones peu profondes à écoulement rapide. Ils présentent des zones de dépôts de graviers et cailloux.
- **Les plats**, sont des zones où la profondeur et le courant deviennent uniformes, dans un lit élargi et à faible pente. La turbulence est pour ainsi dire nulle. En période d'étiage (basses eaux), les plats sont des zones de transit des matériaux fins.
- **Les mouilles**, sont des zones profondes à faible courant. Le substrat y est varié et formé par le creusement naturel ou par des obstacles.
- **Les chenaux** sont les parties les plus profondes des lits de cours d'eau où le courant principal passe. À l'étiage, suivant la vitesse du courant, un chenal est dit lentique (faible courant) ou lotique.
- **Les lônes** sont des bras morts à terme totalement isolés du lit principal. Leur peuplement évolue vers un type lacustre.



Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

Fonctions principales

Les substrats minéraux vont jouer des rôles importants dans les écosystèmes aquatiques.

PRÉSENTATION

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

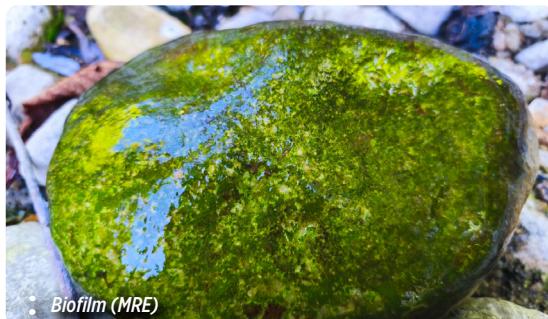
QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

BIBLIOGRAPHIE

RÔLES CHIMIQUES

La composition chimique de l'eau est liée à la composition géologique du bassin versant. En effet, le calcium (Ca_2^+), le magnésium (Mg_2^+) et les bicarbonates (HCO_3^-) sont généralement présents en concentrations plus élevées dans les eaux traversant des formations sédimentaires carbonatées telles que les roches calcaires qui sont majoritairement présentes dans les cours d'eau de région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Behra P. et al. 1999). La dissolution de ce calcaire libère des ions calcium et bicarbonates, contribuant ainsi à la minéralisation de l'eau, à sa dureté, et jouant un rôle tampon essentiel qui régule le pH. Cette fonction tampon stabilise la qualité physico-chimique du milieu aquatique, en limitant ainsi les variations brutales de pH, susceptibles de perturber les organismes aquatiques et la végétation rivulaire.

Par ailleurs, la plupart des processus biologiques de dégradation de la matière organique, ainsi que les cycles biogéochimiques qui y sont liés (notamment ceux de l'azote et du phosphore), se déroulent à la surface du substrat submergé via le biofilm (Malavoi J.R et al. 2011). Les substrats grossiers offrent en effet, un support essentiel à la fixation et au développement du biofilm (micro-organismes aquatiques vivant fixés à la surface des substrats immersés) biofilm, structure complexe regroupant bactéries, algues et champignons filamentueux. Ce biofilm joue un rôle majeur dans la dégradation de la matière organique, à la consommation des composés azotés et phosphorés ainsi que dans la production de matière végétale.



Biofilm (MRE)

La composition, l'hétérogénéité et l'agencement du substrat vont conditionner la capacité de développement du biofilm et sa capacité de consommation de matière organique et de fertilisants. Ainsi, les alluvions grossières proposent des surfaces de contact plus importantes que les substrats lisses (dalles par exemple) du fait de leur hétérogénéité, sous l'effet des processus du transport solide. Cette hétérogénéité augmente la fixation du biofilm et crée des conditions de turbulence favorisant les échanges et flux de composés chimiques. Le biofilm présent sur différents substrats, est capable de métaboliser les nutriments et même de faciliter la dénitrification. Ces substrats jouent ainsi un rôle dans les mécanismes d'auto-épuration des cours d'eau (Angelier. E., 2000).

Les processus d'autoépuration (dénitrification, piégeage du phosphore, interception des polluants, etc.) sont interdépendants, et ce qui favorise l'un peut nuire à l'autre. Par exemple, le manque d'oxygène améliore la dénitrification mais libère le phosphore piégé dans les sédiments. Une diversité de substrats et de conditions d'écoulement paraît donc bénéfique, mais il reste nécessaire de mieux comprendre la capacité des cours d'eau à limiter les nutriments à l'échelle des bassins et de renforcer les méthodes de réduction des apports (Malavoi J.R et al. 2011).

En effet, les sédiments agissent comme réservoirs principaux pour les polluants issus du bassin versant. Ils contribuent à réduire ou ralentir le transit des polluants vers les zones situées en aval, y compris la mer, mais peuvent constituer des sources potentielles de composés toxiques mobilisables. Les recherches révèlent que les polluants se fixent préférentiellement sur la fraction fine des sédiments, en particulier les argiles (diamètre inférieur à 3,9 μm), du fait de leurs propriétés électrostatiques, ainsi que, dans une moindre mesure, sur les limons et les sables très fins (Secrétariat technique Bassin Rhône-Méditerranée, 2024). Pour les argiles, les propriétés électrostatiques sont le fait qu'elles portent des charges électriques qui leur permettent d'attirer ou de repousser d'autres particules et d'être particulièrement collantes.

• L'hyporhéisme

Si la perméabilité du substrat le permet, une partie de l'eau du cours d'eau s'infiltra dans les sédiments saturés, dans le lit ou sur les berges, avant de retourner au cours d'eau après un parcours plus ou moins long. Cet échange de flux, se produit dans la zone hyporhéique, une zone de transition entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Cette zone se distingue par son rôle de régulation et de filtration (Mouhamadoul M., 2023).

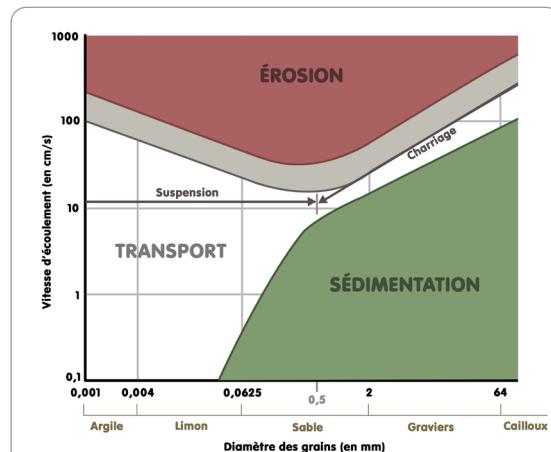
Sur le plan biogéochimique, cette zone orchestre les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et du soufre. Par la décomposition microbienne, elle modifie les niveaux de carbone organique dissous et régule l'azote. Le phosphore et le soufre sont également modulés dans cette zone par des processus anaérobies (qui manquent d'oxygène). Grâce à tous ces mécanismes, la zone hyporhéique participe à la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes (Mouhamadoul M., 2023). Elle abrite également une variété d'organismes, des bactéries, champignons, algues et invertébrés, qui sont essentiels à la décomposition de la matière organique, au recyclage des nutriments et au soutien de la chaîne alimentaire du cours d'eau.

RÔLES PHYSIQUES

L'étude du transport solide et de la morphodynamique des rivières est essentielle pour comprendre les principales évolutions du lit et leurs conséquences. Ces modifications de géométrie de lit sont issues de processus d'érosion (incision du lit, érosion de berges) ou de dépôt (exhaussement du lit). Elles se traduisent avant tout par des modifications morphologiques, mais peuvent également engendrer des conséquences plus ou moins notables sur la piézométrie (niveau de la nappe d'eau souterraine) et l'écologie du cours d'eau (Camenen B., Melun G., 2021).

Hjulström (1935) a illustré graphiquement l'organisation des trois processus suivants : érosion, transport et dépôt, et donc le comportement des particules, en fonction de la vitesse de l'écoulement et la taille des matériaux.

Par exemple, dans la figure ci-dessous à une vitesse avoisinant les 10 cm/s, les particules ayant un diamètre supérieur à 1 mm se déposent (sédimentation) alors que les plus petites sont transportées (transport).



• Diagramme de Hjulström (Malavoi J.R. et al. 2011 et revu par la Maison Régionale de l'Eau).

À noter que les changements hydromorphologiques entraînent des répercussions physiques, écologiques mais aussi sociétales, notamment avec la gestion des milieux aquatiques, des territoires riverains et des risques naturels (cf. ci-dessous) (Camenen B., et al. 2021).

Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

FONCTIONS PRINCIPALES

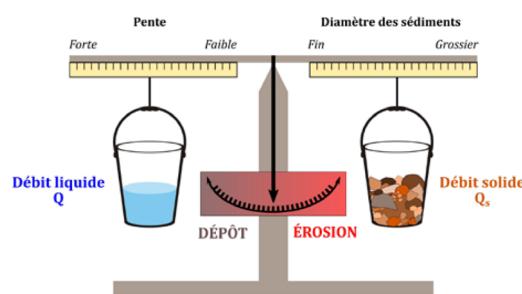
Tableau 1.1 Exemples d'impacts physiques, écologiques et sociaux potentiellement engendrés par des processus durables d'érosion et de dépôt sédimentaire dans un lit fluvial

Processus physiques	Impacts physiques	Impacts écologiques	Impacts sociaux
Érosion	<ul style="list-style-type: none"> Incision du lit Abaissement du niveau limnimétrique (chenal) Abaissement du niveau piézométrique (nappe alluviale) Déconnexion des annexes hydrauliques Disparition des macroformes (dunes, bancs) Modifications des habitats 	<ul style="list-style-type: none"> Dépérissement de la végétation riveraine Glissement typologique Érosion des biocénoses 	<ul style="list-style-type: none"> Déstabilisation d'ouvrages d'art Rupture de digues Déconnexion des captages Problème de navigation
Dépôt	<ul style="list-style-type: none"> Exhaussement du lit Suraccumulation sédimentaire Colmatage / ensablement des fonds Modifications des habitats 	<ul style="list-style-type: none"> Enfoncement de la végétation du lit et des berges Glissement typologique Érosion des biocénoses 	<ul style="list-style-type: none"> Risque inondation Problème de navigation

• Exemples d'impacts physiques, écologiques et sociaux potentiellement engendrés par des processus durables d'érosion et de dépôt sédimentaire dans un lit fluvial (Camenen B., et al. 2021).

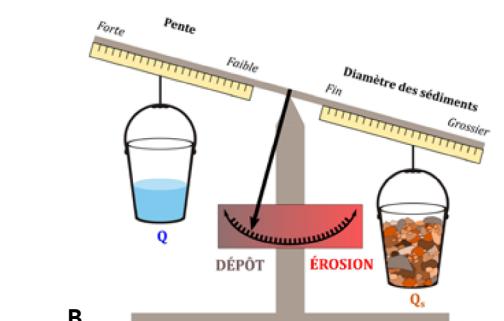
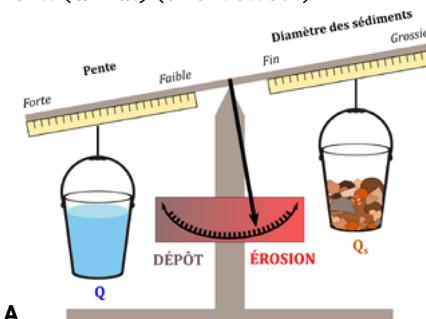
• La balance de Lane

La dynamique d'un cours d'eau peut se résumer comme une recherche permanente d'équilibre. Cet équilibre dépend principalement de deux éléments : la quantité d'eau qui s'écoule (débit liquide Q) et la quantité de sédiments transportés (débit solide Q_s) (cf. ci-dessous). Ces dernières sont directement influencées par le climat, la géologie et la couverture du sol (végétation notamment). À l'échelle plus locale, elles sont modulées par des variables dites d'ajustement, à savoir : le diamètre des sédiments d et la pente moyenne du lit l/f . L'ensemble détermine à la fois la capacité de transport de l'écoulement ($Q \times l/f$) et la quantité de sédiments disponibles ($Q_s \times d$), conformément au principe de la balance de Lane (1955) (Camenen B., et al. 2021).



• Principe de la balance de Lane (Camenen B., et al., 2021).

Quand la pente s'accentue ou que le volume d'eau augmente, le débit liquide s'accroît (la balance penche à gauche), favorisant l'érosion et le transport des sédiments ($Q > Q_s$) (cf. ci-dessous).



• Illustration du déséquilibre (A) induit par une forte augmentation du débit liquide à l'origine de processus d'érosion (B) induit par une forte augmentation du débit solide à l'origine de processus d'exhaussement du lit. (Camenen B., et al., 2021).

Lors d'une crue, le débit liquide et donc la capacité de transport augmentent brusquement. Cela se traduit morphologiquement par l'accroissement de l'érosion dans le lit. Le cours d'eau consomme ainsi davantage de sédiments pour disperser son surplus d'énergie.

Parallèlement, la pente moyenne du tronçon a tendance à diminuer afin de revenir vers un état d'équilibre. À l'inverse, quand le débit liquide diminue, le cours d'eau perd sa capacité à transporter les matériaux lourds, ce qui provoque leur dépôt ($Q < Q_s$), la balance penche à droite.

Ce va-et-vient entre érosion et dépôt, fluctuant à différentes échelles temporelles, entraîne un ajustement continu de la morphologie du lit (largeur, profondeur, méandres), d'autant plus marqué que ces oscillations sont importantes (Malavoi et Bravard, 2010). La vitesse de l'eau, la taille, la forme et la densité des particules sont autant de facteurs influençant le mode de transport de ces sédiments.

RÔLES BIOLOGIQUES

Le substrat minéral constitue un **habitat** où les organismes aquatiques et ripicoles exploitent les interstices et la porosité des sédiments et offre un **refuge** contre les conditions hydrauliques défavorables et la préation.

Il sert de **support à la ponte**, tant pour les poissons et invertébrés sur les substrats submergés que pour les oiseaux, insectes et autres invertébrés sur les substrats émergés. En effet, de nombreuses espèces de poissons se reproduisent principalement, voire exclusivement, sur des substrats alluviaux de granulométrie variée. Il est essentiel que le transport solide soit garanti et que la fourniture en charge solide de fond soient suffisantes afin que ces espèces puissent poursuivre cette étape clé de leur cycle de vie.

Chacune de ces fonctions biologiques dépend des caractéristiques spécifiques du sédiment (granulométrie, porosité, conductivité hydraulique, mobilité) ainsi que des conditions hydrodynamiques régnant à sa surface, telles que la vitesse de l'écoulement et la hauteur d'eau. Les alluvions grossières, qu'elles soient submergées ou exondées, sont essentielles au bon fonctionnement des biocénoses aquatiques et terrestres.

SERVICES RENDUS À L'HOMME

Le substrat minéral du lit des cours d'eau joue un rôle clé dans le fonctionnement écologique et hydrologique des rivières. Il assure aussi indirectement plusieurs services bénéfiques à l'Homme, tant au niveau écologique qu'économique et culturel :

• Ressource économique et usage récréatif

Les alluvions (sables, graviers) représentent une ressource pour le bâtiment et les travaux publics, bien que leur extraction soit désormais strictement encadrée pour limiter les impacts écologiques.

Les rivières présentant une diversité de faciès (radiers, mouilles) et un substrat varié offrent des opportunités récréatives (pêche de loisir, sports d'eau vive, baignade), qui contribuent aussi à l'identité paysagère et culturelle des territoires.

• Qualité et autoépuration de l'eau

Les substrats poreux (galets, graviers) favorisent l'hyporhéisme, c'est-à-dire les échanges entre rivière et nappe alluviale. Cette zone d'échange héberge des micro-organismes qui participent à la dégradation de la matière organique et à la dénitrification, contribuant à l'autoépuration partielle de l'eau.

• Régulation hydrologique locale

Les lits de graviers et galets favorisent l'infiltration temporaire, le stockage diffus et les échanges entre eaux de surface et eaux souterraines. Ils permettent une atténuation locale des crues mineures et une recharge ponctuelle des nappes, sans toutefois supprimer le risque majeur d'inondation.

• Maintien de la dynamique du cours d'eau et de la continuité sédimentaire

Le transport solide et la diversité des matériaux du lit sont essentiels au maintien de la morphologie du cours d'eau (radiers, mouilles, bancs). Une continuité sédimentaire préservée évite le colmatage, l'envasement et l'incision du lit, renforçant la résilience écologique et la stabilité des berges.

Le saviez-vous : rôle différencié selon la granulométrie

Les substrats fins (limon, argile) favorisent la rétention des polluants mais, en excès (colmatage), dégradent la qualité de l'habitat aquatique et la reproduction de certains poissons (Secrétariat technique Bassin Rhône-Méditerranée, 2024).

Les substrats moyens (sable, gravier) favorisent la circulation de l'eau interstitielle, l'oxygénation et la productivité biologique.

Les substrats grossiers (galets, blocs) augmentent la rugosité, dissipent l'énergie hydraulique, protègent les berges de l'érosion et offrent des refuges à la faune aquatique.



Les substrats minéraux des cours d'eau

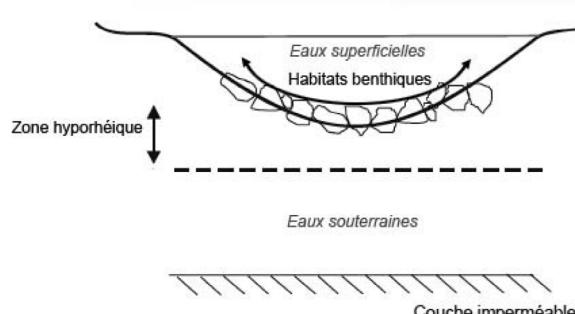
HABITAT & BIODIVERSITÉ

Les substrats minéraux comme support de vie

Les substrats minéraux constituent un lieu de vie pour de nombreuses espèces (Malavoi et al, 2011) dont la distribution spatiale (longitudinale, latérale et verticale) structure l'espace et conditionne la répartition des communautés.

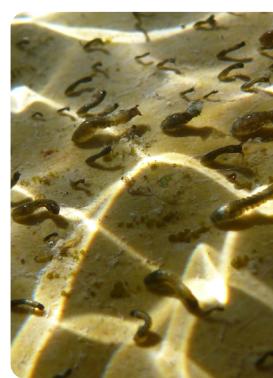
SUPPORT DE VIE POUR LES MACRO-INVERTÉBRÉS AQUATIQUES

- Les macro-invertébrés d'eau douce regroupent l'ensemble des **vers, mollusques, crustacés et insectes** visibles à l'œil nu, vivant dans les eaux douces continentales. Chez la majorité de ces espèces, le cycle de vie comporte une phase aquatique (œufs et larves) et une phase terrestre à l'âge adulte, notamment pour la reproduction. D'autres, comme certains coléoptères ou crustacés, présentes un cycle de vie exclusivement aquatique.
- Ces communautés colonisent une grande diversité de substrats minéraux (pierres, cailloux, graviers, sable, limons) en occupant soit la surface, soit les interstices des sédiments. On distingue deux types d'habitats : la **zone benthique** et la **zone hyporhéique**.



- Localisation de la zone benthique et de la zone hyporhéique (Braud et Alber, 2013).

La **zone benthique** correspond à la surface des sédiments constituant le fond des cours d'eau (Boulton et al, 1998). Les organismes benthiques se retrouvent à la surface ou dans les premiers centimètres de sédiments. Certaines larves d'invertébrés, comme les *Simulidae* (Diptères) et les *Hydropsychidae* (Trichoptères), se fixent à la surface des substrats grossiers, exposés au courant. Elles capturent et décomposent les particules fines de matière organique présentes dans l'eau. Certains mollusques, comme *Ancylus fluviatilis*, se fixent également sur ces substrats et broutent la couverture algale (Malavoi et al, 2011). D'autres organismes vivent enfouis dans les premiers centimètres de sédiments. C'est le cas des larves fouisseuses d'Ephémères qui creusent des galeries dans les sédiments meubles (sables, limons). Elles présentent des adaptations morphologiques spécifiques : pattes antérieures aplatises en forme de pelle, postérieures utilisées pour le déblayage et branchies plumeuses dorsales pour mieux capter l'oxygène de l'eau (Verniers, 1996).



• Larves de *Simulidae* (Diptères) à la surface d'un galet.



• larve d'*Ephemeridae* fouisseuse (Ephéméroptère) avec 7 paires de branchies en face dorsale (MRE).

PRÉSENTATION

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

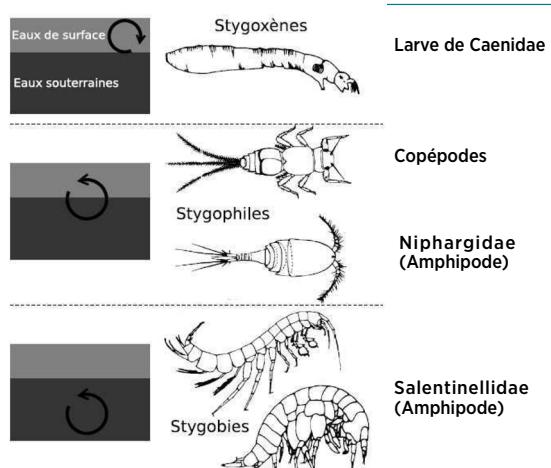
QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

BIBLIOGRAPHIE

La **zone hyporhéique** est généralement définie comme une interface située dans les interstices des sédiments où viennent eaux de surface et eaux souterraines (Boulton et al. 1998). Son épaisseur peut varier de quelques centimètres à plusieurs mètres. Elle abrite des peuplements composés à la fois d'invertébrés benthiques y réalisant tout ou partie de leur cycle de vie, et d'espèces adaptées aux milieux souterrains (Angelier, 2000 ; Descloux, 2011). Les organismes colonisant cette zone sont principalement des crustacés, des oligochètes, des rotifères, des nématodes et des insectes.

Plusieurs organismes sont retrouvés en fonction de leur affinité pour cette zone :

- Les organismes **stygoxènes** : ils ne sont pas spécifiquement adaptés aux milieux souterrains, mais peuvent occasionnellement coloniser la zone hyporhéique.
- Les organismes **stygophiles** : ils exploitent les habitats et les ressources de la zone hyporhéique en réalisant tout ou une partie de leur cycle de vie. Le Plécoptère *Leuctra* s'enfonce profondément dans ce milieu auquel il est inféodé durant la majeure partie de sa vie larvaire (Tachet, 2000).
- Les organismes **stygobies** : ils présentent une adaptation au monde souterrain et occupent essentiellement la zone hyporhéique profonde. Ils présentent des adaptations particulières à la vie à l'obscurité (dépigmentation, aveugles). Les Amphipodes *Niphargus* se retrouvent dans cette zone.



- Classification des organismes aquatiques en fonction de leur affinité avec le milieu souterrain. D'après Descloux, 2011, modifié par MRE.

Certains substrats sont plus favorables que d'autres à la biodiversité, on les qualifie de **biogènes**. Les pierres et les galets figurent parmi les substrats les plus riches en diversité. À l'inverse, les substrats moins stables (sable), moins oxygénés (vase) ou trop lisses (banc d'argile) présentent généralement une diversité plus faible. Pour chacun de ces habitats, il existe une faune spécifique, plus ou moins variée et abondante. De manière générale, plus un substrat est diversifié et composé de matériaux divers, plus les communautés animales sont diversifiées (Verniers, 1996).

De plus, lorsque le substrat alluvial présente une certaine mobilité et une épaisseur importante, une plus grande diversité d'invertébrés est observée. La mobilité crée de la porosité dans le substrat et donc des habitats et l'épaisseur crée des refuges (Malavoi, 2011).

Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

SUPPORT DE VIE

SUPPORT DE VIE POUR LES POISSONS

Les poissons utilisent les substrats minéraux comme **lieu de vie**, comme **habitat de développement pour les juvéniles**, comme **abris** et comme **support de ponte**.

Les différents types de substrats constituent des habitats variés. Certaines espèces, comme le barbeau méridional ou le vairon, colonisent des substrats composés de galets et de graviers. D'autres préfèrent les zones sableuses, comme le goujon. Chaque espèce est inféodée à un type d'habitat qui peut évoluer au cours de son cycle de vie.

La présence de substrats grossiers crée des **abris hydrauliques** qui servent de zones refuge à plusieurs espèces. Chez les poissons d'eaux vives, ces abris permettent de réduire les pertes d'énergie face à des vitesses de courant trop élevées. C'est le cas des jeunes salmonidés, qui utilisent les cailloux et les pierres comme refuge, leur permettant de vivre dans les zones lotiques (eaux à forte courant) et de s'y alimenter, tout en étant protégés des fortes vitesses. Les truites adultes trouvent refuge dans des fonds plus grossiers, constitués de pierres et de blocs situés dans les zones profondes, qui leur assurent des abris de taille appropriée.

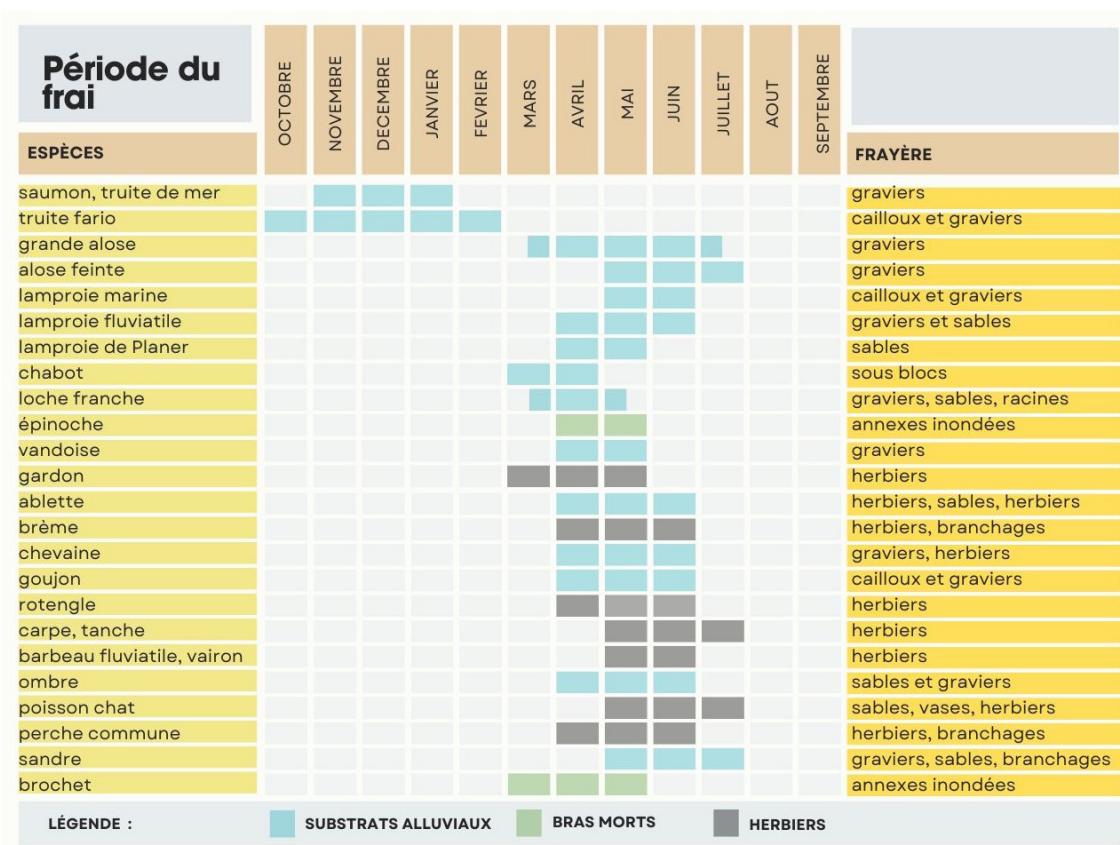
Le substrat grossier assure également une protection contre la préation. Le chabot ou encore l'apron du Rhône, espèces vivant au fond des cours d'eau, s'abritent dans les interstices entre les cailloux et les pierres grossières.

En ce qui concerne la **reproduction**, de nombreuses espèces se reproduisent dans des substrats alluviaux de granulométrie variée. Certaines espèces déposent les œufs sur les substrats qui y adhèrent grâce à leur capacité de fixation. La loche franche ou le goujon les dispersent sur les fonds sableux, tandis que le vairon les dépose sur les blocs, galets ou graviers (Mastrorillo et al. 1996).

D'autres espèces, comme la truite ou le chabot, construisent des frayères en déplaçant le substrat afin d'y enfouir les œufs. Ces structures assurent une certaine protection contre les prédateurs jusqu'à l'émergence des alevins.

Sur les 99 espèces de la faune piscicole d'eau douce française décrites à ce jour, 36 utilisent des substrats minéraux pour tout ou partie de leur cycle de vie.

Habitats de reproduction de plusieurs espèces de poissons. En bleu, les espèces strictement ou en grande partie liées pour leur reproduction aux substrats alluviaux, en vert, celles se reproduisant préférentiellement dans les bras morts, en gris celles se reproduisant sur des herbiers (selon Malavoi et Bravard, 2010, modifié par la Maison Régionale de l'Eau)



Zoom sur les frayères de deux espèces de poissons : la truite et le chabot

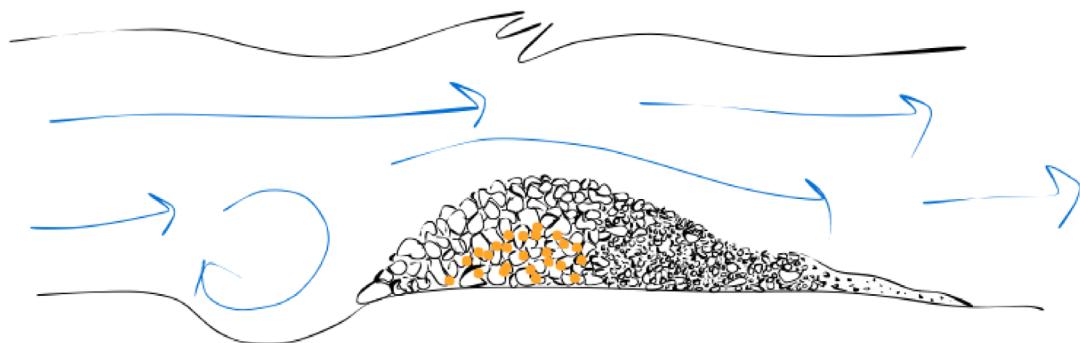
La truite et le chabot sont deux espèces de poissons qui construisent des frayères (zone où les femelles déposent leurs œufs) sur des **substrats minéraux**. Plusieurs paramètres interviennent pour la fraie : le **substrat**, la vitesse du courant et la profondeur.

LA TRUITE FARIO (*SALMO TRUTTA*)

La truite vit dans des eaux fraîches, dont les températures sont comprises entre 0 et 20°C. Elle colonise les têtes de bassin versant, l'amont des grands fleuves, leurs affluents et tous les petits cours d'eau côtiers. La **diversité d'habitat** est un facteur important du biotope de la truite, notamment en raison d'une occupation différente de l'espace en fonction de la taille, de l'âge, et du type d'activité (repos, alimentation et reproduction).

La reproduction se déroule de novembre à fin février en France (Keith et al, 2020). La truite recherche alors des zones de courant vif (pour l'oxygénation des œufs), peu profondes, avec un substrat graveleux. Une fois le site de fraie sélectionné, la femelle remue le fond du cours d'eau à l'aide de sa nageoire caudale, délogeant les algues et les particules fines accumulées entre les graviers. Cette action permet de former une légère dépression dans laquelle la femelle va venir déposer ses ovules. Ils sont ainsi fécondés par le mâle avant d'être recouverts sous le substrat par des mouvements de nageoire.

La frayère ainsi formée présente une structure caractéristique : une fosse suivie d'un dôme au sein duquel sont enterrés les œufs. Ces nids sont repérables, lorsqu'ils sont récents, par leur couleur claire correspondant au nettoyage du substrat et par leur structure en creux et dôme (Onema, fiche frayère truite fario).



- Forme d'une frayère à truite, constituée d'une fosse suivie d'un dôme.
Les œufs sont schématisés en orange sur la figure (dessin fait pas la Fédération de Pêche de l'Isère).



Frayère à truite (MRE)

LE CHABOT COMMUN (*COTTUS GOBIO*)

Le chabot vit dans les eaux fraîches et turbulentes, ainsi que dans les grands lacs alpins. Il se trouve sous les rochers et gros cailloux des radiers, rapides, plats à courants et mouilles. Territorial sédentaire, il se tient caché dans les anfractuosités qu'il ne quitte guère que la nuit (Keith et al, 2020). La période de reproduction varie en fonction de l'altitude, allant de février jusqu'à fin mai début juin.



Chabot (MRE)

Avant la reproduction, le mâle creuse un espace sous une large pierre. Il attire ensuite la femelle en émettant des séries de sons. Celle-ci dépose une centaine d'œufs en un amas fixé en dessous de la grande pierre ou dans le creux. Les œufs sont gardés par le mâle jusqu'à leur éclosion. La femelle sélectionne un mâle plus gros qu'elle, de manière à ce qu'il soit capable de défendre le nid.

SUPPORT DE VIE POUR LES VÉGÉTAUX AQUATIQUES

Les macrophytes regroupent l'ensemble des végétaux aquatiques visibles à l'œil nu. Ils comprennent les Bryophytes (mousses) ainsi que la végétation enracinée, entièrement immergée (Hydrophytes) ou partiellement émergée (Hélophytes). Les macrophytes utilisent les substrats comme **support de fixation**.

Les Bryophytes se développent sur un substrat stable (roche mère, gros blocs résistant aux crues). De ce fait, elles sont confinées aux cours supérieurs des rivières et ruisseaux, au rhithral, qui présente de tel substrat. Leur présence sur le cours inférieur est liée à la présence des substrats pérennes – blocs consolidés des rives, seuils construits, piles de ponts, ou bien racines des arbres de la rive (Angelier, 2000).



Développement de Bryophytes (MRE)

20/09/2024

Les Hélophytes et Hydrophytes sont liés aux possibilités de pénétration des racines dans le substrat (petits galets, graviers, sables et limons). La majorité des espèces affectionnent les granulométries fines et meubles. Toutefois, certaines espèces de zones lotiques (eaux courantes, telles que les rivières ou les torrents) présentent des capacités de colonisation très larges, notamment sur les graviers, comme la fontinelle (*Fontinalis antipyretica*) (Malavoi et Bravard, 2010).

Les peuplements de macrophytes agissent sur le milieu : ils ralentissent les vitesses de courant, piégent les sédiments, libèrent des nutriments et créent de ce fait de nouveaux habitats (Breugnot et al, 2004).

Sur le plan physique, leurs masses végétales réduisent les effets mécaniques des mouvements des eaux courantes, limitant ainsi les phénomènes d'érosion locales des berges des cours d'eau ou des plans d'eau.

Par ailleurs, les herbiers de macrophytes piégent les sédiments fins, ce qui contribue à une diminution temporaire des matières en suspension et à un accroissement des éléments nutritifs stockés sous et dans les herbiers. En consommant ces éléments nutritifs et d'autres éléments indispensables à leur croissance, les plantes aquatiques interviennent directement dans les cycles biogéochimiques des milieux qu'elles colonisent.

Les macrophytes offrent également un habitat pour de nombreux organismes (biofilms microbiens, invertébrés, poissons ...). Leur présence le long des berges est indispensable lors de l'émergence des larves de macroinvertébrés du milieu aquatique au milieu terrestre et pour la ponte par la suite (Verniers, 1996).

SUPPORT DE VIE POUR DES ORGANISMES TERRESTRES

Lorsque les dépôts alluvionnaires subissent des périodes d'exondation, on observe leur colonisation par des végétaux terrestres. Les grèves fluviatiles offrent des conditions particulières de développement, nutriments en grande quantité, présence d'eau à proximité, thermie élevée, éclairage optimal. Elles représentent un habitat particulier pour l'implantation d'espèces pionnières, adaptée à l'alternance submersion-émersion (saules, massettes etc.).

Deux stratégies s'observent chez les végétaux pionniers des grèves, suivant qu'il s'agit de plantes vivaces ou de plantes annuelles. Les premières se maintiennent à l'état végétatif sous l'eau pendant toute la phase de submersion et attendent la période d'exondation pour fleurir et fructifier.

Les secondes se maintiennent sous forme de graines, dans le substrat, pendant toute la période de submersion et ne germent qu'au moment de la baisse du niveau d'eau, souvent assez tardivement dans l'année. Ces plantes effectuent ainsi leur cycle de croissance et de reproduction en quelques semaines à peine afin de produire au plus vite de nouvelles graines avant une éventuelle remontée du niveau d'eau (Charrais, 2013).

Les oiseaux utilisent les grèves fluviatiles exondés comme zone d'alimentation ou de reproduction, dont des espèces protégées au niveau européen (oedicnème criard, sterne naine et sterne pierregarin, pipit rousseline). Quelques insectes terrestres affectionnent les grèves comme milieu de vie, comme l'œdipode turquoise, le forficule des galets ou le gomphé à pattes jaunes.



Les substrats minéraux des cours d'eau

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

BIBLIOGRAPHIE

HABITAT & BIODIVERSITÉ

Vulnérabilités

Suite à des décennies, voire des siècles, d'interventions humaines (chenalisation, extractions de granulats, implantation de seuils et barrages) des milliers de kilomètres de cours d'eau français ne présentent plus aujourd'hui un bon fonctionnement hydromorphologique (diversité de faciès d'écoulement, berges naturelles, bancs alluviaux mobiles, ripisylve variée, corridor fluvial boisé, annexes hydrauliques ...) (Malavoi et Adam, 2007). Selon l'état des lieux des cours d'eau français réalisé par les agences de l'eau en 2004, plus de 50 % des masses d'eau françaises présentaient un **mauvais fonctionnement hydromorphologique** (Malavoi et Bravard, 2010).

Les activités anthropiques perturbent fortement le **transit sédimentaire** des cours d'eau. Certaines pratiques augmentent l'apport de sédiments, d'autres le réduisent, modifiant ainsi l'équilibre sédimentaire naturel.

DÉFICITS EN SÉDIMENTS GROSSIERS

Depuis la fin du XIX^e siècle, une réduction drastique de la charge alluviale grossière est observée. Elle est causée par plusieurs facteurs (Malavoi et Bravard, 2010) :

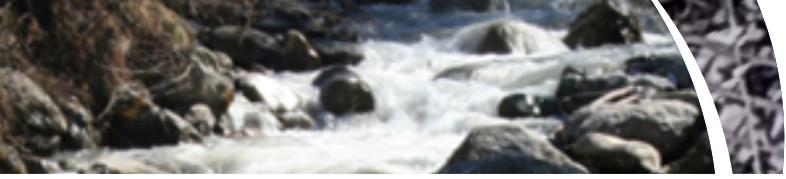
- **La stabilisation volontaire des versants** dans les massifs montagneux, visant à bloquer les sédiments à la source. Depuis le XV^e siècle, un déboisement volontaire par les populations rurales (vente de bois d'œuvre, de construction, de chauffage), accompagné d'un surpâturage intensif, a conduit à une grande instabilité des versants. Le service de Restauration des Terrains en Montagne a ainsi envisagé de stabiliser les versants afin de bloquer les sédiments à la source. L'objectif était de lutter contre les risques d'inondation et de laves torrentielles dans les villes et villages situés à l'exutoire des bassins versants instables et très productifs en charge solide.
- **Les extractions massives de granulats**, en particulier entre 1945 et 1985. Après 1945, la forte croissance, le besoin de reconstruction et le développement de la technologie du béton, ainsi que la politique de développement du réseau routier et ferré, ont accru les prélevements dans la plupart des cours d'eau à charge grossière.

• **L'implantation de nombreux ouvrages.** Les rivières françaises ont été fortement modifiées et artificialisées, notamment pour se protéger du risque inondation et pour l'utilisation de la ressource (irrigation, navigation).

- Les ouvrages longitudinaux (rectification, recalibrage, dérivation) affectent la mobilité latérale de la rivière, limitant la fourniture sédimentaire remobilisable par l'érosion des berges.
- Les ouvrages transversaux (comme les barrages ou les seuils) altèrent le régime hydrologique et bloquent partiellement ou totalement le flux solide. Selon leur taille et leur fonctionnement, les barrages peuvent très largement altérer le transport solide.



• Ouvrage transversal obstrué (MRE)



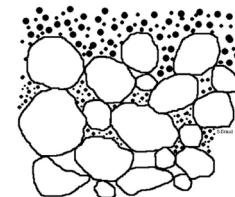
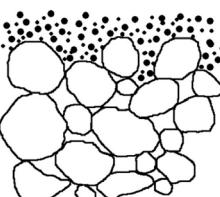
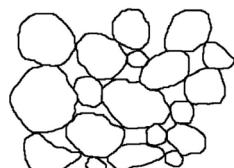
Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

VULNÉRABILITÉS



La réduction des apports de sédiments grossiers dans le cours d'eau est à l'origine de dysfonctionnements hydromorphologiques. Une quantité insuffisante de sédiments peut entraîner une incision du chenal (enfoncement du lit mineur), une érosion des berges, une modification de la composition granulométrique du lit du chenal, et une modification des habitats fluviaux (Owens et al. 2005). Ces transformations modifient la structure du cours d'eau et impactent la biodiversité aquatique.



• Schématisation du colmatage des sédiments grossiers. Substrat non colmaté (à droite), colmatage superficiel (au centre), colmatage superficiel et interstiel (à gauche) (Braud et Alber, 2013).

EXCÈS DE SÉDIMENTS FINS : LE COLMATAGE

Certaines activités humaines entraînent un **apport excessif de sédiments fins** (sables, argiles et limons) dans les cours d'eau. Bien que naturellement présents dans les systèmes fluviaux et jouant un rôle majeur, leur concentration excessive perturbe profondément les hydrosystèmes. L'érosion des bassins versant liée à la déforestation ou aux pratiques culturelles, la mauvaise gestion des berges, le déversement des déchets miniers, l'extraction de granulats du lit mineur, ainsi que le fonctionnement et l'entretien des barrages et des plans d'eau, sont les principales sources de sédiments fins (Gayraud et al. 2002).

Ces apports excessifs provoquent un **colmatage minéral** des habitats aquatiques. Il s'agit du dépôt et de l'infiltration de sédiments fins minéraux au sein du lit des cours d'eau (Gayraud et al. 2002). Le colmatage peut être **superficiel** ou **interstiel** :

- Le **colmatage superficiel** provoque un recouvrement des alluvions grossières benthiques par les sédiments fins, uniformisant ainsi les fonds et provoquant une perte directe d'habitats pour les biocénoses aquatiques inféodées aux substrats alluviaux grossiers (Gayraud et al. 2002).
- Le **colmatage interstiel** intervient lorsque les sédiments fins s'infiltrent en profondeur et remplissent les interstices du substrat dans la zone hyporhénique. Il réduit la circulation de l'eau dans l'espace interstiel et son habitabilité pour les biocénoses aquatiques : perturbations des zones de fraies, pertes d'habitats pour de très nombreuses espèces de macroinvertébrés. En effet, lorsque la porosité du substrat est importante, c'est-à-dire lorsque les concentrations en sédiments sont faibles, de fortes densités en macroinvertébrés sont observées. De plus, il perturbe les processus d'autoépuration et de régulation thermique de la zone hyporhénique.



Les **dysfonctionnements hydromorphologiques** liés aux déficits ou aux excès de sédiments entraînent une altération profonde des **habitats alluviaux**. Cette altération des habitats dégrade les biocénoses aquatiques (composition, abondance, biomasse, structure des peuplements faunistiques et floristiques). Ces perturbations affectent également les annexes hydrauliques, les zones humides et la ripisylve.

La gestion du transit sédimentaire, la restauration de la continuité écologique et la renaturation des berges apparaissent comme des leviers essentiels pour préserver ou restaurer les fonctionnalités écologiques des rivières. Pour cela, le bon fonctionnement du transport sédimentaire est aujourd'hui inscrit comme un objectif fort dans les textes juridiques encadrant la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. En effet, toute interruption de cette continuité (barrages, seuils, dysfonctionnements hydrauliques) remet en cause la qualité et le renouvellement des habitats des substrats minéraux. Le droit français, en application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), renforce cette exigence :

- "Le règlement du **Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)** peut édicter les règles nécessaires afin d'améliorer le transport naturel des sédiments et d'assurer la continuité écologique, fixer des obligations d'ouverture périodique de certains ouvrages hydrauliques fonctionnant au fil de l'eau"
Article R. 212-47 du Code de l'Environnement.

- Les articles **L.214-17 et R.214-109** du **Code de l'Environnement** imposent la gestion, l'équipement et l'entretien des ouvrages présents sur les cours d'eau pour ne pas gêner le transit naturel des sédiments et la migration des poissons.

- Dans son annexe 5, la **DCE** fait de la continuité écologique l'un des éléments de qualité hydromorphologique pour la classification de l'état écologique d'un cours d'eau. Le "très bon état" ne peut même être atteint que si "la continuité de la rivière n'est pas perturbée par des activités anthropogéniques et permet une migration non perturbée des organismes aquatiques et le transport de sédiments". Dans la même annexe figure **l'article 13 de l'arrêté ministériel de prescriptions techniques générales** de 2015 qui prévoit que : "Dans le cas des barrages réservoirs et afin de réduire l'effet de l'artificialisation des débits et du blocage du transport solide sur la dynamique hydromorphologique en aval, le pétitionnaire peut être amené à réaliser des lâchers d'eau périodiques de manière combinée aux éventuelles dispositions de rétablissement du transport des sédiments. Ces lâchers sont destinés à réduire l'impact de l'absence de crues morphogènes - crues avec un débit et une vitesse importante qui change la géomorphologie de la rivière - naturelles de fréquence biennale, en créant des conditions de débit favorables à la restauration d'une dynamique hydromorphologique équilibrée".



Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

Quelques exemples en région

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

BIBLIOGRAPHIE

PROJET DE RECHARGE SÉDIMENTAIRE EN DURANCE

La Durance est la plus importante rivière de Provence, deuxième affluent du Rhône. À la fois alpine et méditerranéenne, elle prend sa source dans les Hautes-Alpes, à 3 000 m d'altitude. Les débits soutenus et l'important transport de graviers donnent naturellement à la Durance une **morphologie en tresses**, c'est-à-dire un lit à bras multiples fortement mobile dont les bancs sont composés de graviers et galets.

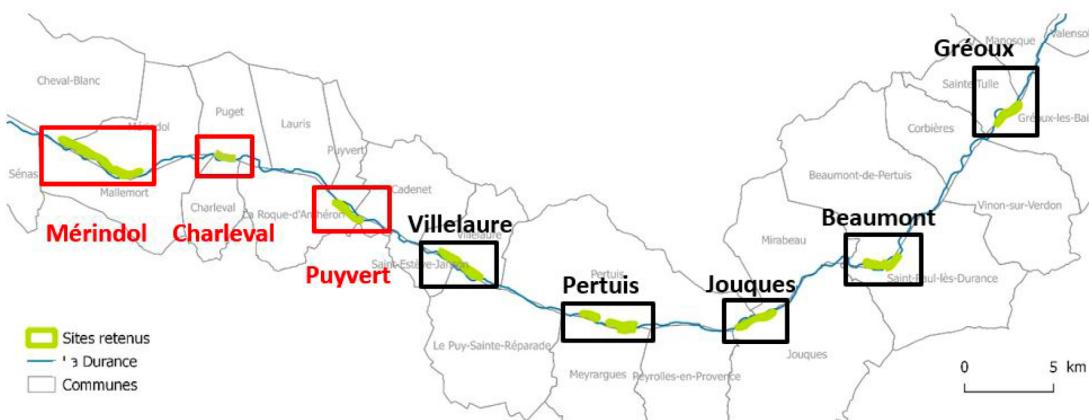
Lors de la seconde moitié du XX^e siècle, la modification des débits (hydroélectricité, irrigation) et les extractions dans le lit ont profondément modifié la morphologie de la Durance, conduisant à une réduction des linéaires en tresse, qui présentent des habitats d'exception pour la faune et la flore.

Un projet ambitieux de restauration morpho-écologique est lancé par le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD) avec comme objectifs :

- Retrouver les fonctionnalités naturelles de la Durance
- Poursuivre la redynamisation alluviale naturelle initié depuis l'arrêt des extractions de matériaux dans le lit

L'outil identifié pour restaurer la dynamique alluviale sont des opérations de **recharge sédimentaire**. Elles consistent à remobiliser les matériaux issus de bancs de graviers présents dans le lit, mais que la rivière n'arrive plus à mobiliser naturellement. Ces matériaux sont ensuite repris et transportés par les crues.

En basse Durance, pour initier les premières opérations de recharge sédimentaire, **trois sites pilotes ont été retenus** avec des contextes d'expérimentation très favorables : Charleval et Puyvert (travaux réalisés en 2022) ainsi que Mallemort (travaux programmés en 2025).



• Sites retenus pour le projet de recharge sédimentaire en Durance. En rouge les trois sites pilotes. Source : SMAVD

Les substrats minéraux des cours d'eau

HABITAT & BIODIVERSITÉ

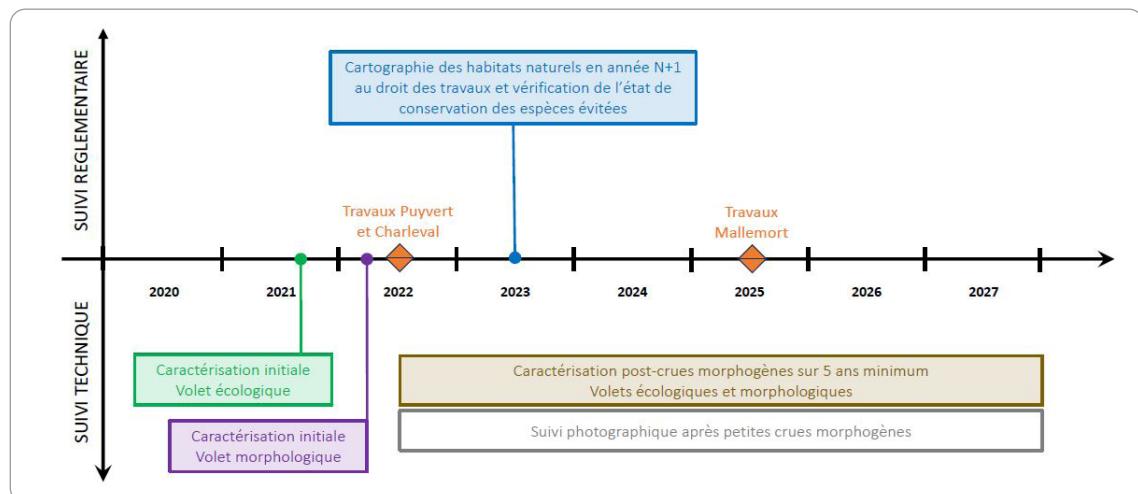
QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

Pour suivre l'effet de ces travaux, un état des lieux a été réalisé avant travaux, comprenant un volet écologique (suivi faune et flore) et un volet morphologique (évolution de la granulométrie, évolution des berges, du lit de la rivière...) sur chacun des secteurs. Une fois les travaux effectués un suivi est reprogrammé sur un tronçon continu de 20 km (du pont de Cadenet aux gravières de Mallemort) avec une caractérisation post-crues morphogènes (ayant un impact sur la morphologie du lit) sur 5 ans minimum. Les objectifs ciblés sont :

- Quelle dynamique sédimentaire se met en place ?
- Observe-t-on une évolution de la morphologie ? Retrouve-t-on plus de tresses ?
- Les milieux annexes sont-ils plus connectés à la nappe alluviale ?
- Retrouve-t-on plus de typicités biologiques de la Durance en tresse sur les milieux alluviaux et aquatiques ?

Les indicateurs suivis du projet sont :

- Volet écologique :
 - Indicateurs des milieux alluviaux dynamiques : insectes bioindicateurs (faune) et petite massette (flore)
 - Indicateur des milieux aquatiques : Apron du Rhône (faune)
 - Indicateur du degré de connexion des milieux annexes avec la nappe fluviale : évolution en grand des milieux (photo aérienne)
- Volet morphologique :
 - Évolution en plan de la rivière (bande active, bras, bancs, trait de berge, distribution granulométrique...)
 - Évolution de la géométrie du lit et des fonds



• Les différents suivis prévus sur la Durance sur les sites de Puyvert et de Charleval (SMAVD)

Premiers résultats sur le secteur de Charleval

Les travaux, combinés aux crues post travaux, ont permis à la Durance de retrouver une dynamique fluviale. La figure ci-après montre la reformation de tresses dans le lit de la Durance sur le secteur de Charleval entre 2022 et 2024.

De plus, les suivis post travaux ont permis d'identifier une meilleure diversité d'habitats favorables à la faune.



• Travaux réalisés sur le secteur de Charleval en 2022.

La recharge en sédiments, combinée aux crues post-travaux, ont permis la reformation de tresses dans le lit de la Durance (SMAVD).



Les substrats minéraux des cours d'eau

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

ORGANISATION SPATIALE

FONCTIONS PRINCIPALES

SUPPORT DE VIE

VULNÉRABILITÉS

QUELQUES EXEMPLES EN RÉGION

BIBLIOGRAPHIE

HABITAT & BIODIVERSITÉ

Bibliographie

- Angelier. E., 2000, **Écologie des eaux courantes**, Ed TEC&DOC, 198 pages.
- Association Rivière Rhône Alpes Auvergne, 2020. **Note stratégique : Supprimer les contraintes latérales des cours d'eau pour restaurer les continuités écologiques. Connaissances et retours d'expériences.** 35 pages.
- Behra P., Sigg L., 1999, **Chimie des eaux naturelles, lettre des sciences chimique du CNRS.** 6 pages.
- Boulton, Andrew J., Stuart Findlay, Pierre Marmonier, Emily H. Stanley, et H. Maurice Valett. 1998. **“The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers”.** Annual Review of Ecology and Systematics 29 (1): 59-81.
- Braud S, Alber A. 2013. **Synthèse des connaissances et proposition d'une méthode d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau.** DREAL Centre.
- Breugnot E, Dutartre A, Laplace-Treyture C, Haury J. 2004. **Variabilité des peuplements de macrophytes aquatiques en grands cours d'eau : premiers résultats sur l'hydroosphère Adour-Garonne.** Ingénieries n°37 – p.37 à 50.
- Camenen B., Melun G., 2021. **Guide pour la mesure et la modélisation du transport solide. Office français de la biodiversité.** Collection Guides et protocoles. 160 pages.
- Charais J. 2013. **“Vers la définition du transport solide suffisant en rivière : utilisation d'indicateurs biologiques”.**
- CPIE, 2010, **Les cahiers de l'eau du réseau des CPIE.** 24 pages.
- Descloux, Stéphane. 2011. **Le colmatage minéral du lit des cours d'eau: méthode d'estimation et effets sur la composition et la structure des communautés d'invertébrés benthiques et hyporhéiques.**

- Euzen, Agathe, et al., éditeurs. **L'eau à découvert**. CNRS Éditions, 2015, <https://doi.org/10.4000/books.editionscnrs.9746>.
- Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de l'Isère. **Reconnaissance de frayère à truite**.
- Gayraud, S., E. Hérouin, et M. Philippe. 2002. **“Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés”** Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, n°s 365-366: 339-55.
- Keith P., Poulet N., Denys G., Changeux T., Feunteun E. & Persat H. (coords), 2020. – **Les poissons d'eau douce de France**. 2nd édition. Biotope Éditions, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 704 pages.
- Malavoi, J.R, Adam P. 2007. **Les interventions humaines et leurs impacts hydromorphologiques sur les cours d'eau**.
- Malavoi J.R. et Bravard J.P., 2010. **Éléments d'hydromorphologie fluviale**. Onema. 224 pages.
- Malavoi J.R., Garnier C.C., Landon N., Recking A., Baran P., 2011. **Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière**. Onema. 216 pages.
- Mastrorillo, S., F. Dauba, et A. Belaud. 1996. **“Utilisation des microhabitats par le vairon, le goujon et la loche franche dans trois rivières du sud-ouest de la France”**. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology 32 (3) : 185-95.
- Mouhamadou M. 2023. **Dynanique des interactions physico-chimiques en zone hyporhéique : influence des crues et de la suppression des barrages**.
- Office national de l'eau et des milieux aquatiques “**fiche frayère truite fario**”.
- Owens, P. N., R. J. Batalla, A. J. Collins, et al. 2005. **“Fine-grained Sediment in River”**.

- Recking V.A., 2017, **Éléments de géomorphologie fluviale_cahier 2 : La granulométrie des cours d'eau (et sa mesure)**, irstea. 57 pages.
- Secrétariat technique Bassin Rhône-Méditerranée, 2024. Guide technique - **Élaborer et mettre en œuvre un plan de gestion sédimentaire**. 214 pages.
- Systems: “**Environmental Significance and Management Issues**”. River Research and Applications 21 (7) : 693-717.
- Tachet H, Richoux P, Bournaud M, Usseglio-Polatera P. 2000. **Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie**.
- Verniers, G. 1996. **Le cours d'eau : rôles écologiques et paysagers**. In : L'eau, l'homme et la nature. 24^{es} journées de l'hydraulique. Congrès de la Société Hydrotechnique de France.