

Recommandations pour la restauration hydromorphologique des cours d'eau intermittents et/ou à faible débit d'étiage



Avril 2022

- **AUTEUR**

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ, DIRECTION RÉGIONALE BRETAGNE

MIKAËL LE BIHAN

mikael.le-bihan@ofb.gouv.fr

- **CONTRIBUTEURS**

Alexandra HUBERT (Direction Bretagne de l'OFB), Claire MAGAND et Gabriel MELUN (Direction de la recherche et de l'appui scientifique de l'OFB).

- **RÉSUMÉ**

La première version de cette note a été réalisée en 2017 à la suite de sollicitations de techniciens rivières intervenant sur des cours d'eau intermittents et/ou avec de faibles débits à l'étiage sur les régions Bretagne et Pays de la Loire. Cette version 2.3 apporte des compléments et actualise les recommandations techniques à mettre en œuvre sur ce type de milieu.

L'objectif de cette note est d'intégrer les spécificités des cours d'eau intermittents et/ou à faibles débits d'étiage dans les modalités techniques de restauration et leur mise en œuvre.

Cette note n'est pas exhaustive et est amenée à être complétée et amendée.

- **MOTS CLÉS**

Cours d'eau
Restauration hydromorphologique
Intermittence
Débit d'étiage
Assec
Recharge granulométrique

Droits d'usage : accès réservé à l'OFB, aux services de l'État, aux institutions publiques

Niveau géographique : régional

Couverture géographique : Bretagne, Pays de la Loire

Niveau de lecture : professionnels

Version : V2.3 - Mars 2020

Photo de couverture : cours d'eau le Treulon, en Mayenne (© Galineau, 2019)

I. INTRODUCTION

En France, entre 25 à 40 % des rivières sont intermittentes (Snelder *et al.*, 2013). Les cours d'eau intermittents cessent périodiquement de s'écouler sur une partie ou la totalité de leur linéaire (Datry *et al.*, 2012). Ces cours d'eau présentent une contribution primordiale à l'alimentation en eau des cours d'eau permanents situés en aval (Acuna *et al.*, 2013). Ces cours d'eau sont assimilés à des conduits essentiels pour le transfert d'eau, d'énergie, de matériaux et d'organismes vivants, même en l'absence d'eau visible en surface d'une rivière. Par ailleurs, ils offrent des habitats pour de nombreuses espèces floristiques et faunistiques, en particulier les invertébrés (Boulton, 1989 ; Robson *et al.*, 2005 ; Bonada *et al.*, 2008 in Mackie, 2013). Ces dernières ont un cycle de vie qui est adapté au fonctionnement des cours d'eau intermittents (Bouas, 2016) et représentent ainsi une biodiversité spécifique.

Au cours du prochain siècle, le nombre et le linéaire de cours d'eau temporaires devraient augmenter en conséquence du changement climatique et des demandes croissantes en eau (Larned *et al.*, 2010). Ces écosystèmes aquatiques sont très sensibles au changement climatique (Bishop *et al.*, 2008) du fait des assèchs de plus en plus longs et marqués (Figure 1).



Figure 1 : Assèchement total d'un cours d'eau (OFB)

Plusieurs projets de restauration ont en effet été menés sur le territoire Bretagne, Pays de la Loire sur ce type de milieu et quelques projets présentent un certain nombre de dysfonctionnements (exemple : perte totale de l'écoulement du fait d'une recharge trop grossière, température excessive à l'étiage du fait de l'absence de ripisylve, ...) limitant les bénéfices des restaurations. La sensibilité écologique élevée des cours d'eau intermittents et/ou à faible débit d'étiage implique une mise en œuvre très soignée des travaux de restauration hydromorphologique et des recommandations spécifiques.

II. SPÉCIFICITÉS DES COURS D'EAU INTERMITTENTS ET/OU À FAIBLES DÉBITS D'ÉTIAGE

Le principal facteur limitant les fonctionnalités biologiques sur ce type de cours d'eau est l'absence d'eau durant des périodes plus ou moins prolongées dans l'année. Concernant les invertébrés, en cas d'assec, le déclin du nombre d'espèces s'effectue par paliers successifs associés à la déconnexion d'habitats du cours d'eau (Figure 2).

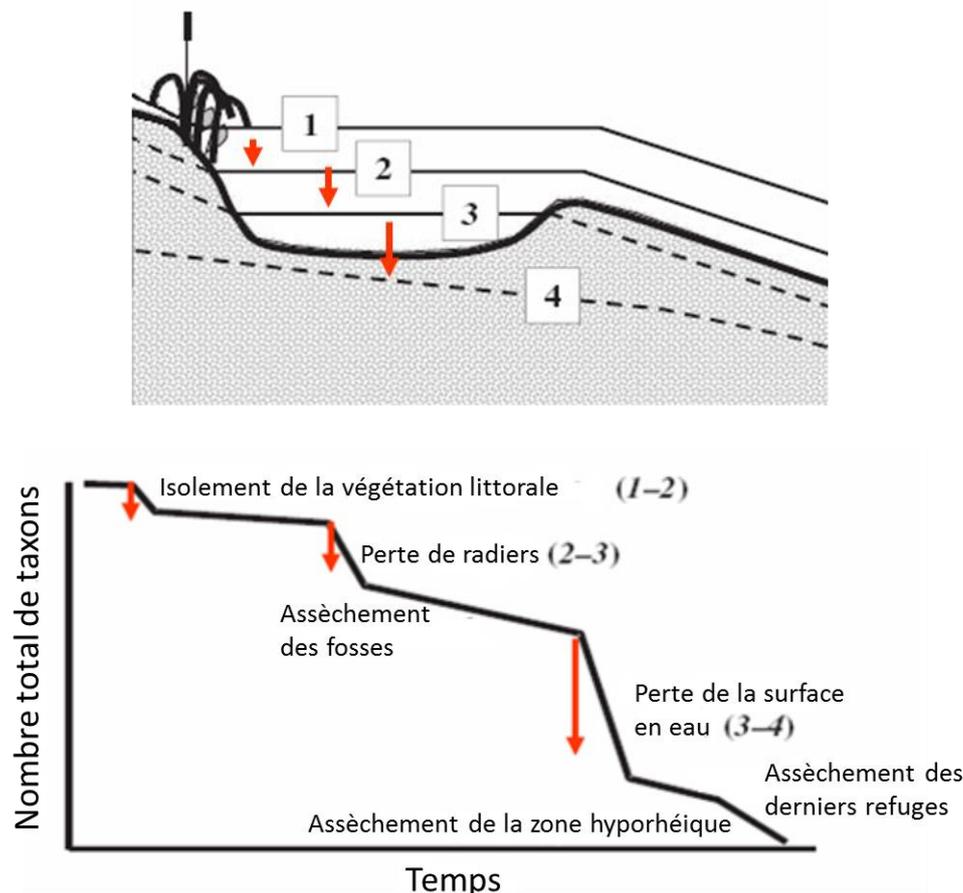


Figure 2 : Modification du peuplement de macroinvertébrés par palier au fil de la diminution des hauteurs d'eau dans un cours d'eau et de la déconnexion des différents habitats associés (Traduit de Boulton, 2003)

Les modalités techniques de restauration doivent donc viser l'amélioration de la résistance de ces écosystèmes (maintien d'une eau fraîche de bonne qualité en respectant l'hydrologie naturelle du cours d'eau considéré) ainsi que leur résilience (faciliter la capacité de recolonisation de ces cours d'eau par la faune à partir des fosses, de la zone hyporhéique ou des annexes hydrauliques maintenues en eau, ...).

Après une opération de restauration écologique, la présence d'assecs sur des cours d'eau naturellement intermittents ne doit pas être perçue comme un signe d'échec. En effet, une biodiversité spécifique se développe sur ces milieux intermittents. Si les assecs sont accentués par les pressions anthropiques, l'objectif des projets de restauration consistera à réduire leur durée et le linéaire impacté, sans pour autant viser un écoulement pérenne.

III. RECOMMANDATIONS TECHNIQUES

Afin d'améliorer l'efficacité des opérations de restauration à venir, **13 recommandations** peuvent être formulées. Celles-ci visent à optimiser le fonctionnement de ces cours d'eau, et notamment dans un contexte de changement climatique, entraînant des étiages plus longs et plus sévères.



1) Au préalable, essayer de caractériser l'intermittence naturelle du cours d'eau

La restauration de l'hydrologie d'un cours d'eau suppose de connaître (du mieux possible) ses conditions hydrologiques naturelles (exemple : linéaire soumis à intermittence, durée d'intermittence, débit en période d'étiage, ...). En effet, la restauration hydromorphologique d'un cours d'eau doit être cohérente vis-à-vis du fonctionnement naturel du cours d'eau et ne doit par exemple pas mener à créer un écoulement pérenne au sein d'un cours d'eau naturellement intermittent.

Connaître les conditions hydrologiques naturelles d'un cours d'eau peut s'effectuer avec différentes méthodes complémentaires :

a) Par une analyse des données disponibles :

- vérifier la localisation des stations de l'Observatoire Nationale Des Ecoulements (O.N.D.E¹) et celles de la banque hydrologique² du département considéré, et récupérer les données (modalités d'écoulement observées, débits spécifiques, ...) si une station est représentative (même hydro-écorégion, bassin versant, géologie, rang de Strahler, ...) ou placée sur le tronçon étudié ;

- utiliser les cartes de Snelder (Snelder *et al.*, 2013 ; Figure 9 de cette publication scientifique) et de Beaufort (Beaufort *et al.*, 2018 ; Figure 14 de cette publication scientifique) pour identifier la présence de cours d'eau intermittents sur le sous-bassin versant étudié.

b) Par des campagnes de terrain :

- à l'échelle du sous-bassin étudié, réaliser des relevés de terrain durant la période d'étiage et caractériser les modalités d'écoulement sur le terrain afin de déterminer le linéaire de cours d'eau intermittents ;

- à l'amont immédiat si les conditions sont naturelles ou sur un tronçon présentant des caractéristiques comparables (notion de référence), étudier la durée et la sévérité des étiages ainsi que les débits d'étiage.

Une fois ces données collectées, une analyse croisée des données disponibles sur l'hydrologie, l'intermittence, l'état morphologique des cours d'eau et sur des pressions affectant l'hydrologie à l'échelle du bassin versant (référentiel SYRAH) permettra d'estimer la part « naturelle » ou « anthropique » de l'intermittence.

¹ Disponible sur : <https://onde.eaufrance.fr/>

² Disponible sur : <https://www.hydro.eaufrance.fr/>



2) Restaurer l'alimentation en eau des cours d'eau dès la tête de bassin versant

Certaines atteintes aux fonctionnements hydrologiques ne peuvent trouver une réponse efficace et durable qu'à l'échelle du bassin versant amont. Les mesures complémentaires à la restauration des cours d'eau et visant à restaurer le fonctionnement hydrologique sont les suivantes :

- ✓ Préserver les milieux naturels sur l'ensemble du bassin versant, car ils sont essentiels pour l'infiltration des eaux (exemples de dégradation : imperméabilisation, drainage des zones humides, suppression de haies, création de plan d'eau, ...).
- ✓ Limiter les prélèvements à l'échelle du bassin versant.
- ✓ Limiter l'imperméabilisation des sols (ex : privilégier les revêtements perméables - gazon, gravier, ... - aux revêtements imperméables).
NB : En ville, favoriser la « gestion à la source » des eaux pluviales (ex : toitures végétalisées, noues, jardins de pluie, ...) pour une restitution progressive des eaux aux nappes et milieux naturels.
- ✓ Limiter les ruissellements et les vitesses d'écoulement à l'échelle du bassin versant (recréation de haies, végétalisation des talus, modification des techniques d'entretien des fossés en privilégiant la technique du « tiers inférieur » avec des fréquences d'entretien adaptées).
- ✓ Restaurer les zones de sources des cours d'eau (ex : remise à ciel ouvert, suppression du drainage, ...). Attention, les rangs « zéro » correspondent souvent à des écoulements intermittents ou éphémères sans berges distinctes, dits « achenalisés » (Galineau, 2020) (Figure 3). Par conséquent, les techniques de restauration doivent être adaptées aux particularités de ces milieux.

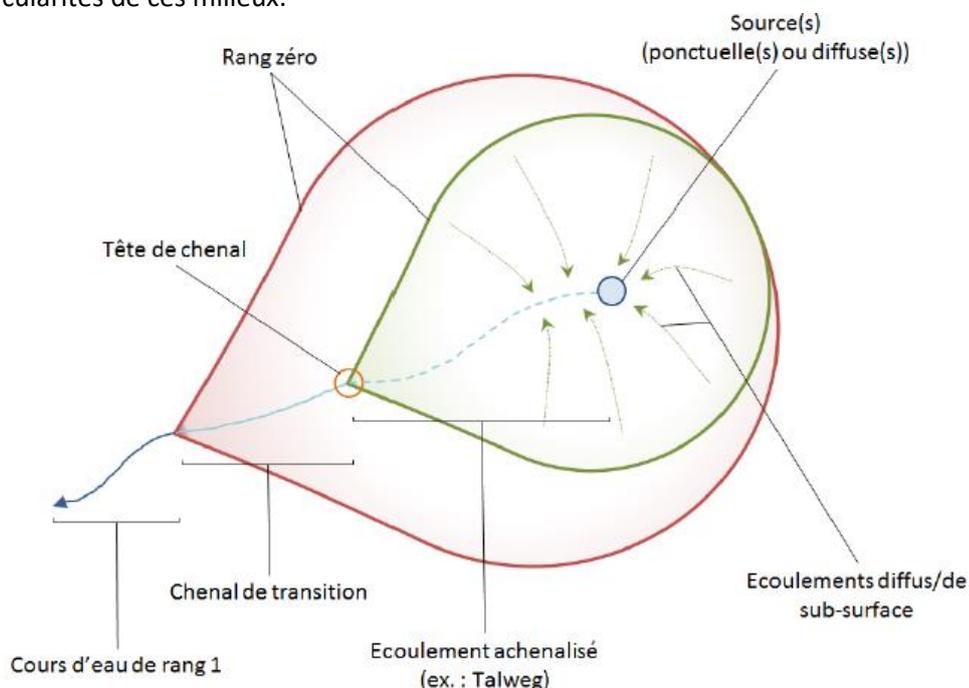


Figure 3 : Schéma d'un rang zéro. En vert, la délimitation la plus courante des bassins de rang 0 ; En rouge, la délimitation des rangs zéros selon Sheridan & Spies (2005) ou Storey *et al.* (2009) (d'après Benda *et al.*, 2008 et Grieve, 2018 ; in Galineau, 2020).

- ✓ Restaurer des zones humides (ex : suppression de drainage, déremblaiement, suppression de plan d'eau sur zones humides).

- ✓ Regagner des zones d'expansion naturelle des crues (suppressions de remblais en lit majeur, de digues et de merlons, ...).
- ✓ Désimperméabiliser les sols (ex : retrait de remblai en zones humides, remise à ciel ouvert d'une zone de source, ...).

L'eau transportée au moment des crues ne doit pas être uniquement vue comme une ressource excédentaire mais comme un paramètre essentiel à la vie des cours d'eau (Baptist *et al.*, 2014) (Figure 4).



Figure 4 : Cours d'eau en tête de bassin versant sur le Massif Armoricain dont le lit majeur (flèche rouge) constitue une zone d'expansion naturelle des écoulements lors des crues (OFB)

3) Favoriser le retour du cours d'eau dans son talweg initial



De nombreux cours d'eau en tête de bassin versant ont été déplacés en dehors de leurs talwegs (Figure 5).



Figure 5 : Cours d'eau rectifié et perché en dehors de son talweg, dont le tracé initial subsiste dans la végétation (Tracz, 2011).

Lorsque le déplacement d'un lit occasionne une différence altitudinale significative avec le talweg initial (au moins supérieur à 10 cm) et si l'état morphologique du cours d'eau le justifie, il est pertinent d'envisager de replacer le cours d'eau dans son talweg d'origine. Cette

opération permet de retrouver l'emplacement naturel des cours d'eau et maximise ainsi les écoulements au sein des lits restaurés (soutien optimal de la nappe, reconnexion avec les zones humides riveraines et les éventuelles annexes hydrauliques).



4) Retrouver une sinuosité naturelle

De nombreux cours d'eau en tête de bassin versant ont été rectifiés. Cette opération consiste à raccourcir une portion de cours d'eau sinueux à méandrique en procédant à des recoupements artificiels des méandres. La linéarisation réduit les échanges latéraux entre la rivière et sa nappe alluviale (Figure 6). De plus, l'augmentation de la vitesse d'écoulement qui en résulte favorise l'érosion du lit (incision) et la disparition des séquences « radier - mouille », au niveau desquelles d'intenses échanges entre les eaux de surface et souterraines se développent (Datry *et al.*, 2008*).

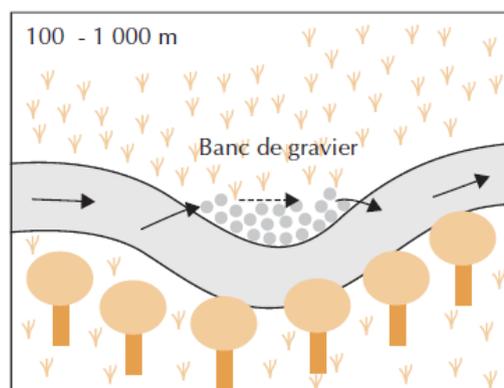


Figure 6 : Echanges hydrologiques latéraux au droit d'un méandre (Datry *et al.*, 2008).

La reconstitution de quelques méandres marqués (en fer à cheval) sur des cours d'eau très sinueux à méandriques maximisera les échanges entre les lits mineur et majeur (Figure 7).



Figure 7 : Méandre en « fer à cheval, ruisseau de la Blanchetais en Ille-et-Vilaine (OFB, 2015)

Les cours d'eau à sédiments fins et cohésifs (argiles, limons) présentent de faibles conductivités hydrauliques. Dans ces cours d'eau, même un changement majeur tel qu'un reméandrage peut ne pas suffire à augmenter substantiellement les échanges entre le cours

d'eau et sa nappe. Pour améliorer ces échanges hyporhéiques³, les projets de restauration doivent inclure une recharge granulométrique aux points d'inflexion des méandres et être conçus afin de limiter l'envasement du cours d'eau (Kasahara & Hill, 2007*).



5) Retrouver un lit dimensionné sur la base de la crue journalière de fréquence biennale (QJ2)

Si aucun enjeu lié à l'inondation des terres riveraines (risques liés à la sécurité des biens et des personnes) n'est identifié, le gabarit à retenir pour recréer un lit de cours d'eau correspond à la valeur de la crue journalière de fréquence biennale, nommée QJ2 (Malavoi & Bravard, 2011). Il est conseillé de légèrement sous-dimensionner les profils en travers par rapport à cette valeur guide afin de faciliter les ajustements hydromorphologiques.

Sur le territoire Bretagne, Pays de la Loire, des études sur l'hydromorphologie des cours d'eau de rang de Strahler 1 permettent de fournir des valeurs guides (largeurs et profondeurs à plein bord notamment) pour le dimensionnement des nouveaux lits (Jan, 2013 ; Bossis, 2014).

Si les objectifs d'un projet de restauration sont de réduire les pics de crues en aval et d'améliorer les débits à l'étiage, il est préférable de privilégier la recréation d'un nouveau lit (si la largeur du fond de vallée à plat le permet ou par reméandrage) qui permettra de restaurer la fonctionnalité hydrologique du cours d'eau (Figure 8).

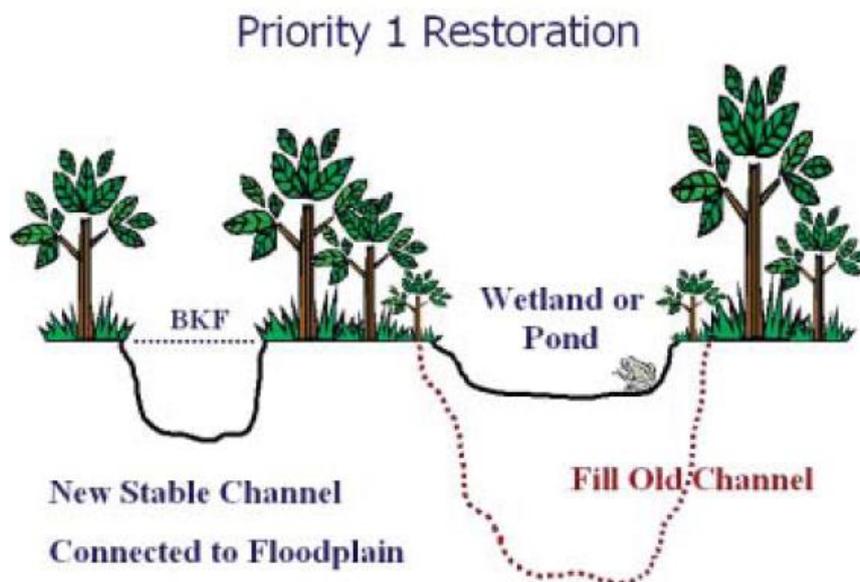


Figure 8 : Priorité de la restauration (Doll et al., 2002)



6) Limiter au maximum la hauteur du lit mineur à plein bord par rapport au terrain naturel (TN)

Si les hauteurs totales à plein bord d'un cours d'eau en tête de bassin versant avant restauration sont supérieures à 0,80 cm, les objectifs d'une opération de « recharge granulométrique » se limiteront essentiellement à la diversification des habitats, à l'amélioration de la biologie et de la qualité physico-chimique de l'eau, mais ne permettra pas d'améliorer le fonctionnement hydrologique.

³ La zone hyporhéique est définie comme l'ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessous et à côté d'une rivière, contenant une certaine proportion d'eau de surface (White, 1993 ; in Datry et al., 2008).

En effet, sur le Massif Armoricain, le gabarit moyen du lit à plein bord d'un cours d'eau de rang de Strahler 1 est de 1,35 m de large sur 0,22 m de profondeur (Jan, 2013 ; Bossis, 2014) (Figure 9).

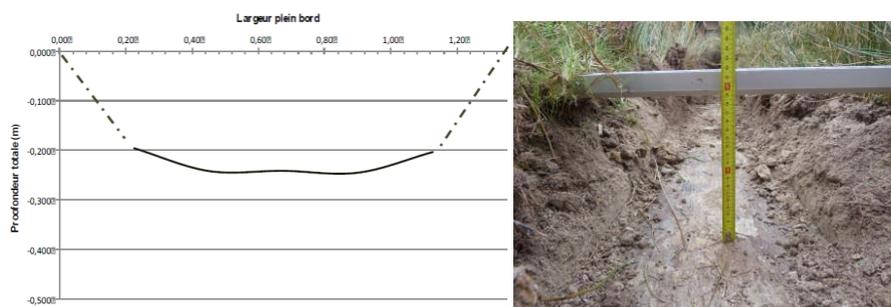


Figure 9 : a) Gabarit moyen d'un cours d'eau de rang de Strahler 1 (Bossis, 2014) ; b) Nouveau lit de profondeur égale à 20 cm pour un cours d'eau de rang de Strahler 1 (Le Bihan, 2018)

Il convient d'éviter à tout prix les sur-approfondissements des cours d'eau intermittents au risque de :

- Limiter les débordements et l'alimentation des milieux humides latéraux (essentiels pour le soutien d'étiage).
- Entraîner un drainage amplifié des milieux humides latéraux et de la nappe alluviale.
- Augmenter les risques d'incision du lit mineur.



7) Reconstituer le profil en long de manière adaptée

Sur ces cours d'eau, le tracé du profil en long du fond du lit mineur (différences d'altitude entre radiers et fosses) ne doit pas être modelé uniquement par l'apport de matériaux exogènes (Figure 10 - croquis de droite), mais doit absolument être élaboré au moment du terrassement (Figure 10 - croquis de gauche) (Bramard, 2015).



Figure 10 : Réalisation du profil en long d'un cours d'eau intermittent

Une recharge d'au moins 15-20 cm de matériaux doit être anticipée lors des terrassements. Cette méthode permet d'éviter les pertes du fil d'eau et de limiter l'effet drainant (linéaire) de la recharge granulométrique en créant des « bosses » de matériaux imperméables. Le maintien ou la création des fosses est indispensable dans la reconstitution d'un nouveau lit sur ce type de cours d'eau (Figure 11).

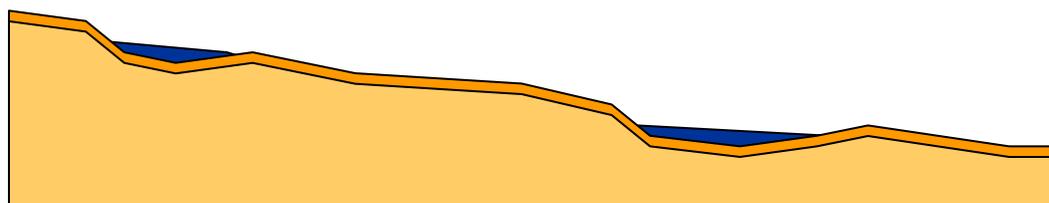


Figure 11 : Profil en long d'un cours d'eau intermittent (Tomanova, 2012)

Les faciès d'écoulement (succession radier-fosse-plat pour les cours d'eau de plaine) se succèdent à un rythme plus ou moins régulier dans un cours d'eau naturel, mais selon une moyenne assez constante de 6 fois la largeur à plein bord du lit (Thorne, 1992 ; Malavoi & Bravard, 2010).

Les fosses se créent dans la partie concave des méandres (appelées « mouille de concavité ») et en aval des radiers (appelées « fosse de dissipation ») (Figure 12).

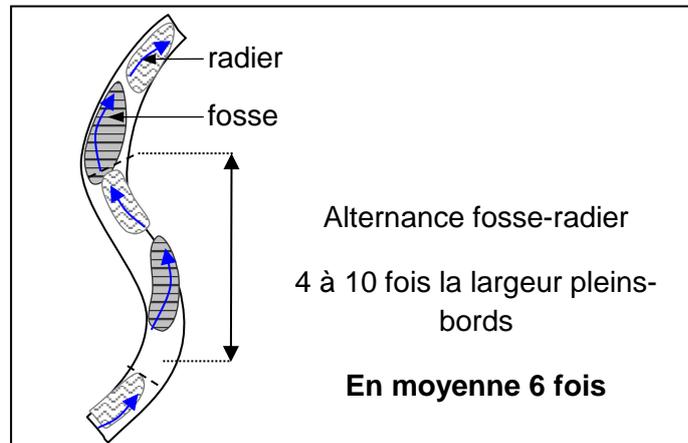


Figure 12 : Succession radier - mouille

En conditions naturelles, c'est la présence de petites fosses très régulièrement réparties qui va permettre aux espèces aquatiques de résister aux étiages sévères (Malavoi & Bravard, 2011) (Figure 13).

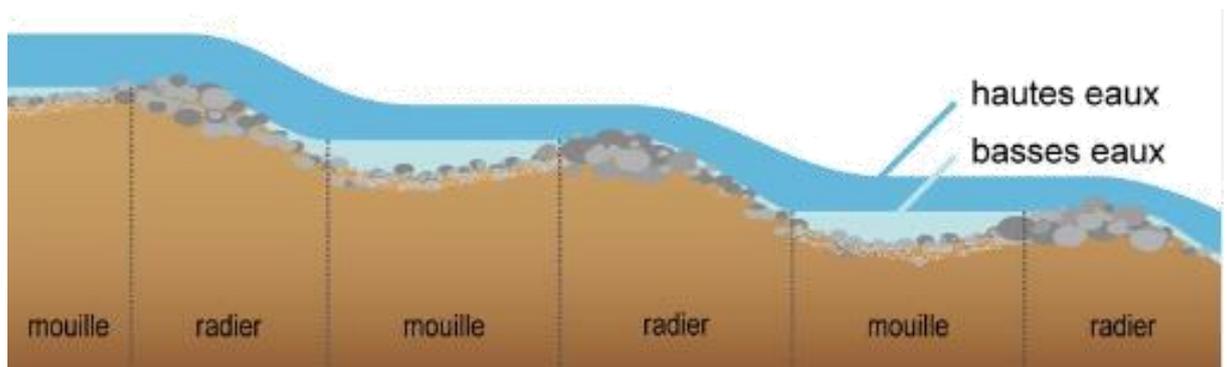


Figure 13 : Succession radier-mouille (OFB ; in Melun, Le Bihan & De Billy, 2020)

Dans le cas d'une recharge en plein, il convient d'adapter la hauteur de la recharge afin de veiller au maintien de fosses régulièrement réparties (en mettant moins de recharge au droit des fosses).



8) Avoir une vigilance particulière sur la reconstitution du matelas alluvial et de la zone hyporhéique

La zone hyporhéique (zone de contact entre l'eau de surface et l'eau souterraine) est une composante essentielle à ne pas négliger dans la restauration des cours d'eau (Datry *et al.*, 2008) (Figure 14).

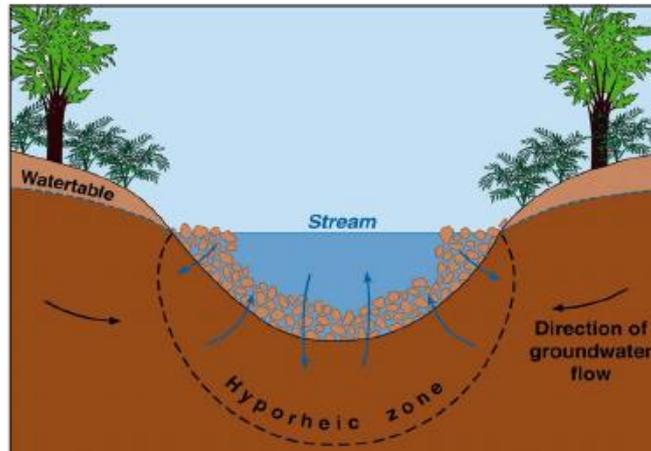


Figure 14 : Zone hyporhéique (Datry *et al.*, 2008)

Le matelas alluvial comprend la couche d'armure (en surface) et juste en dessous la sous-couche (Figure 15).

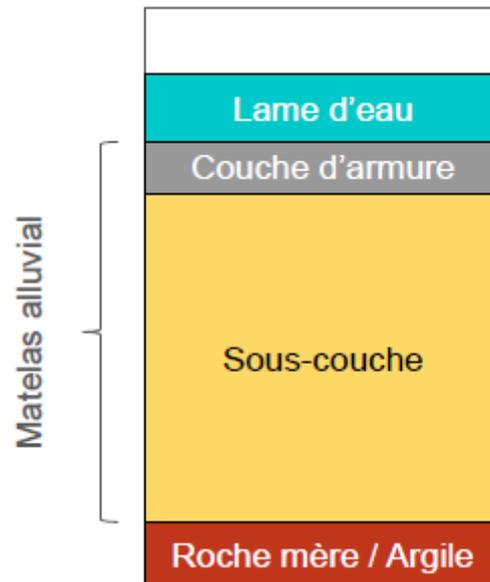


Figure 15 : Représentation du matelas alluvial d'un cours d'eau (Galineau, 2019)

Sur des cours d'eau intermittents, il est recommandé de ne pas effectuer de recharge granulométrique supérieure à 30 cm d'épaisseur. La mise en place d'une couche de matériaux imperméables (de type argile) sous la recharge permettra de suivre cette recommandation dans tous les cas (Figure 16).

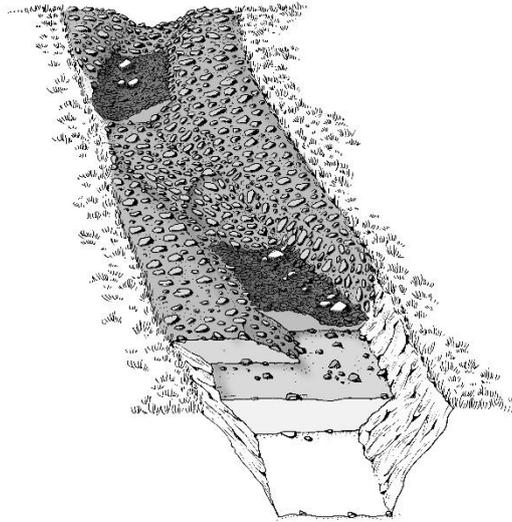


Figure 16 : Mise en place d'un matériau de comblement sous la recharge granulométrique (CATER, 2018)

En effet, même en étant vigilant sur les classes granulométriques utilisées, une recharge sur une épaisseur trop élevée est susceptible d'accroître les pertes de fil d'eau de par son effet drainant.

Pour les cours d'eau dont le débit d'étiage est faible, l'emploi de matériaux trop grossiers peut entraîner une proportion très élevée d'écoulements souterrains. Il faudra par conséquent s'assurer que la recharge granulométrique présente une proportion suffisante de fraction « fine » (0-16 mm) pour ne pas entraîner de perte d'écoulement (Figure 17).

Nature du sédiment	Diamètre moyen (10 ⁻³ m)	Porosité efficace (%)	Conductivité hydraulique (m/s)	Vitesse d'écoulement pour $i = 10^3$ (m/j)
Gravier moyen	2,5	40	$3,10^{-01}$	63
Sable grossier	0,125	34	$2,10^{-03}$	0,5
Sable moyen	0,250	30	$6,10^{-04}$	0,17
Sable fin	0,09	28	$7,10^{-04}$	0,21
Sable très fin	0,045	24	$2,10^{-05}$	0,007
Sable/vases	0,005	5	$1,10^{-09}$	0,000002
Limon	0,003	3	$3,10^{-08}$	0,000085
Limon argileux	0,01	-> 0	$1,10^{-09}$	0
Argile	0,0002	-> 0	$5,10^{-10}$	0

Figure 17 : Relation porosité – efficacité – vitesse d'écoulement (Datry *et al.*, 2008)

Dans le cas où la couche d'armure apparaît très différente de la sous-couche dans un tronçon de référence hydromorphologique, il peut être intéressant de reconstituer la sous-couche puis la couche d'armure en respectant leur granulométrie respective (Figure 18).



Granulométrie de la couche d'armure (gauche) et de la sous-couche (droite) sur le Voaz Ven (22)

Figure 18 : Granulométrie de la couche d'armure et de la sous-couche d'un même cours d'eau (Galineau, 2020)



9) Maintenir un lit mineur d'étiage

Un cours d'eau naturel en équilibre se caractérise par ses capacités à concentrer les débits d'étiage et à dissiper les débits de crue (Ward & Trimble, 2003). Pour les cours d'eau à faibles débits d'étiage, il est essentiel de reconstituer un lit mineur d'étiage pour concentrer les débits (Figure 19).

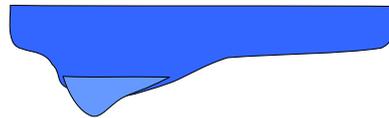


Figure 19 : Schéma d'un Lit d'étiage

En fonction du type de cours d'eau et de la largeur considérée, différentes solutions existent pour reconstituer un lit mineur d'étiage :

- Création d'un pendage latéral (simple ou double).
- Création de banquettes d'étiage (Figure 20).
- Utilisation d'une granulométrie de forte étendue granulométrique, et mobilisable lors des crues par le cours d'eau étudié, pour faciliter les ajustements hydromorphologiques et la reconstitution naturelle d'un lit mineur d'étiage.



Figure 20 : Exemple de banquettes d'étiage sur un cours d'eau



10) Étanchéifier à l'argile si risque de perte d'écoulement

Pour les cours d'eau s'écoulant en contexte argileux, en cas de risque de perte d'écoulement, il est nécessaire de prévoir l'étanchéification du fond du lit à l'aide de matériaux argileux. Pour être efficace, il faut prévoir entre 30 et 50 cm de couche imperméable sous la recharge granulométrique.



11) En cas de recréation d'un nouveau lit, reboucher partiellement ou totalement l'ancien lit

Le maintien « ouvert » de l'ancien lit rectifié et/ou recalibré est à proscrire afin de limiter son effet drainant. Dans le cas où l'ancien lit n'est pas totalement rebouché, il convient à minima de réaliser des bouchons étanches à chaque « intersection » entre l'ancien et le nouveau lit, et entre l'ancien lit et les éventuels affluents.

Les bouchons doivent être suffisamment imperméables et compactés pour être efficaces (Figure 21).

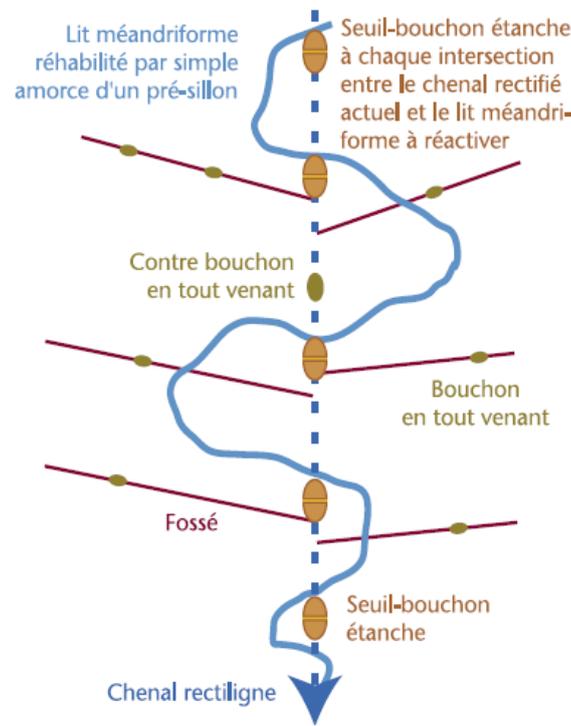


Figure 21 : Technique de réméandrage (Luco *et al.*, 2008)

Les bouchons peuvent être réalisés à la pelle mécanique ou manuellement (Rondel, 2019).



12) Favoriser l'ombrage

En tête de bassin versant, la température de l'eau est fortement corrélée avec la température de l'air. La différence de température de l'eau entre des tronçons de cours d'eau de rang 2 ombragés et exposés au soleil peut être de 4 à 5°C (Rutherford *et al.*, 2004).

Aussi, afin de limiter les élévations trop importantes de la température de l'eau et ses impacts associés (Figure 22), il est essentiel de maintenir ou favoriser le retour d'une ripisylve de part

et d'autre du cours d'eau. Si cela est impossible sur les deux rives, le maintien de la ripisylve devra être réalisé *a minima* sur la rive exposée au sud. Après plantation, il faudra 5 à 6 ans pour que l'ombrage soit efficace pour un cours d'eau en tête de bassin versant.

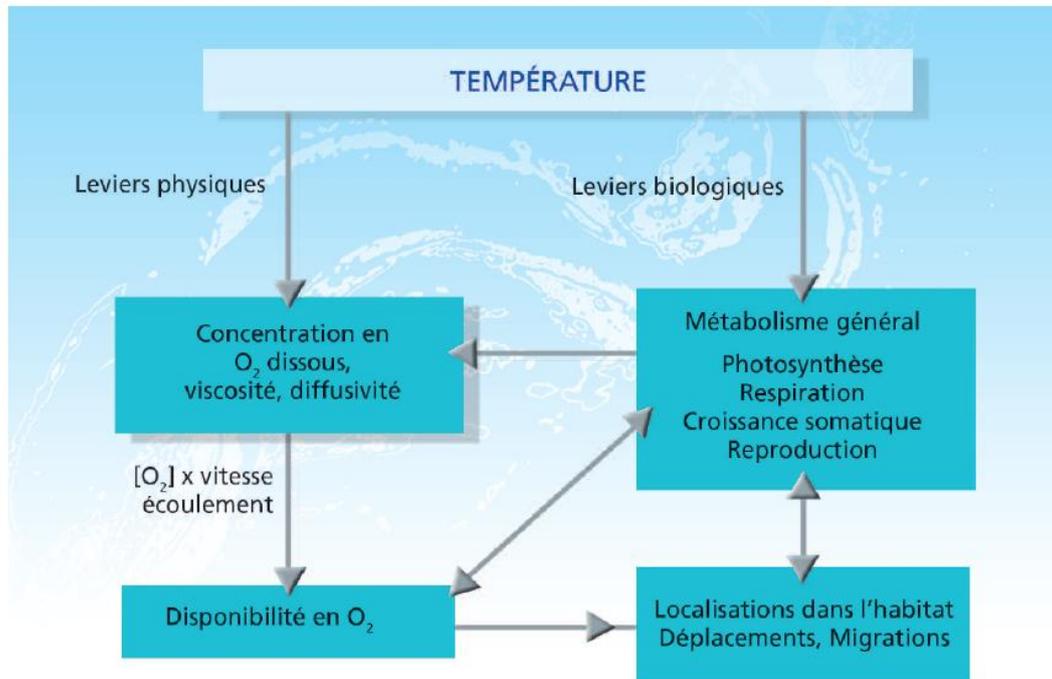


Figure 22 : Processus reliant la température à la disponibilité en oxygène et ses impacts sur les écosystèmes aquatiques (D'après Dumont *et al.*, 2007 ; in Baptist *et al.*, 2014).

Pour rappel, la concentration maximale en oxygène dissous dans l'eau diminue quand la température augmente (exemple : à 10°C -> 11mg/L ; à 30°C -> 7 mg/L).



13) Reconstituer une diversité des habitats

Tout obstacle naturel de petite taille au sein du lit mineur, tel que du bois mort ou un bloc induit des échanges avec la zone hyporhéique sur des longueurs et des profondeurs de l'ordre de quelques centimètres ou dizaines de centimètres (Thibodeaux & Boyle, 1987 ; Figure 23).

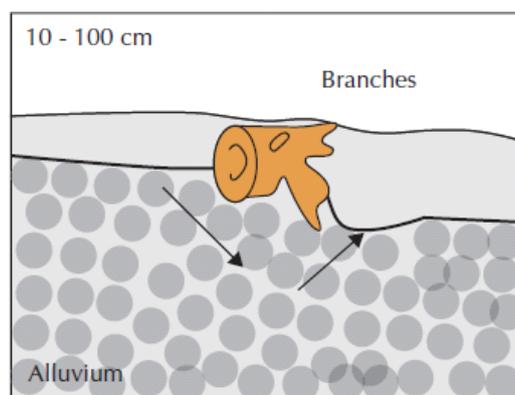


Figure 23 : Les échanges nappe-rivière à l'échelle d'un bois en rivière (Datry *et al.*, 2008)

L'apport de blocs peut être envisagé uniquement sur les cours d'eau qui en sont naturellement pourvus et en respectant leurs caractéristiques en conditions de référence (exemple : nature géologique, densité, taille, ...).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACUNA V., MUNOZ I., GIORGI A., OMELLA M., SABATER F. & SABATER S., 2005**, Drought and postdrought recovery cycles in an intermittent Mediterranean stream : structural and functional aspects, *Journal of the North American Benthological Society*, **24** : 919-933.
- BAPTIST F., POULET N. & SEON-MASSIN N. (coordinateurs), 2014**. Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation. Onema. Collection Comprendre pour agir. 128 pages.
- BEAUFORT A., LAMOUREUX N., PELLA H., DATRY T., SAUQUET E., 2018**. Extrapolating regional probability of drying of headwater streams using discrete observations and gauging networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, European Geosciences Union, **22** (5), pp.3033-3051. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01884643/document> .
- BENDA L., HASSAN M.A., CHURCH M., ET AL., 2005**. Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association* : 17.
- BISHOP K, BUFFAM I, ERLANDSSON M, ET AL., 2008**. Aqua Incognita : the unknown headwaters. *Hydrological Processes* **22** (8) : 1239–1242. DOI : 10.1002/hyp.7049.
- BONADA N., RIERADEVALL M., DALLAS H., DAVIS J., DAY J., FIGUEROA R., RESH V.H., PRAT N., 2008**. Multi-scale assessment of macroinvertebrate richness and composition in Mediterranean-climate rivers. *Freshwater Biol.*, **53**, 772-788.
- BRAMARD M., 2015**, Formation sur la restauration des petits cours d'eau de plaine. supports de presentation ONEMA.
- BOUAS, 2016**. Etude de la biodiversité (macro-invertébrés et ichtyofaune) des cours d'eau en tête de bassin versant. Rapport de stage de Master 2. ONEMA/IMACOF/POLYTECH TOURS. 43 pages.
- BOSSIS, 2014**. Étude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant armoricains en situation de référence. Rapport de stage de Master 2. ONEMA/Université de Rennes 1/Agrocampus Ouest. 19 pages.
- BOULTON A.J., 2003**, Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages, *Freshwater Biology*, **48**, 1173-1185.
- BRAMARD, 2015**, Eléments d'élaboration du dossier technique de restauration linéaire, Note interne ONEMA, 11 pages
- DATRY T., DOLE-OLIVIER M.J., MARMONIER P., CLARET C., PERRIN J.F., LAFONT M. & BREIL P., 2008**, La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau, *Ingénieries - E A T*, **54**, 16 pages.
- DATRY T., CORTI R., PHILIPPE M., CLARET C., DUMONT B., SAUQUET E., LE GOFF G., & ROGER P., 2011**. Rivières intermittentes du bassin RMC : fonctionnement écologique dans un contexte de mise en application de la DCE. Rapport final Cemagref - Agence de l'Eau RM&C. 61 pages et annexes.
- GALINEAU, 2019**. Caractérisation de stations de référence hydromorphologique sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire. Rapport de stage de Master 1. Direction Bretagne, Pays de la Loire de l'Agence Française pour la Biodiversité. 19 pages.
- KASAHARA, T., HILL, A.-R., 2007**. Instream restoration : its effects on lateral stream–subsurface water exchange in urban and agricultural streams in southern ontario, *River research and applications*, **23**, 801-814.
- JAN, 2013**. Etude du fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau de tête de bassin versant sur le massif Armoricaïn. Rapport de stage de Master 2. ONEMA/Université de Rennes 1. 39 pages.
- LARNED S.T., DATRY T., ARSCOTT D.B., & TOCKNER K. 2010**. Emerging concepts in temporary river ecology. *Freshwater Biology* **55**, 717-738
- LUCO E., DEGIORGI F., AUGE F., PEREIRA V., BADOT P.M., DURLET P., 2008**, Les effets du reméandrement de ruisseaux temporaires en forêt de chaux (Jura, France) sur le fonctionnement hydrique des sols riverains : premiers résultats, *Forêt Wallone*, **97**, 29-38.

- MACKIE K., CHESTER E., MATTHEWS T., ROBSON B., 2013.** Macroinvertebrate response to environmental flows in headwaters streams in western Victoria. *Australia, Ecological Engineering*, p. 100-105.
- MALAVOI J.R. & BRAVARD J.P., 2010.** Eléments d'hydromorphologie fluviale. ONEMA. 224 pages.
- MELUN G., LE BIHAN M., DE BILLY V. 2021.** Guide de préconisations techniques pour l'exploitation alluvionnaire et la réhabilitation hydromorphologique des criques guyanaises. Office français de la biodiversité, collection Guides et protocoles, 176 pages.
- ROBSON B.J., HOGAN M., FORRESTER T., 2005.** Hierarchical patterns of invertebrate assemblage structure in stony upland streams change with time and flow permanence. *Freshwater Biol.*, **50**, 944-953.
- RONDEL, 2019.** Création de bouchons sur des fossés. Fiche technique de la Direction Bretagne, Pays de la Loire de l'Agence Française pour la Biodiversité. 4 pages.
- RUTHERFORD J.C., MARSH N.A., DAVIES P.M., ET AL., 2004.** Effects of patchy shade on stream water temperature : how quickly do small streams heat and cool ? *Marine and Freshwater Research*, **55** (8) : 737. DOI: 10.1071/MF04120.
- SHERIDAN C.D. & SPIES T.A., 2005.** Vegetation environment relationships in zero-order basins in coastal Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, **35** (2) : 340-355.
- SNELDER, T. H., DATRY, T., LAMOUREUX, N., LARNED, S. T., SAUQUET, E., PELLA, H., & CATALOGNE, C., 2013.** Regionalization of patterns of flow intermittence from gauging station records. *Hydrology and Earth System Sciences*, **17**, 2685-2699. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00864911>.
- STOREY R, PARKYN S, SMITH B, ET AL., 2009.** Effects of development on zero-order streams in the Waikato region. Environment Waikato.
- THIBODEAUX L.J. & BOYLE J.D., 1987.** Bedform-generated convective transport in bottom sediment. *Nature*, n° 325, p. 341-343.
- THORNE C.R., 1992.** Bend scour and bank erosion on the meandering Red River, Louisiana. *Lowland floodplain rivers: Geomorphological perspectives*, 95-115.
- WARD A.D. & TRIMBLE S.W., 2003.** Environmental hydrology (Second Edition). Lewis publishers. 502 p.
- WHITE, D.-S., 1993.** Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society*, n° **12** (1), p. 61-69.