

Note technique

Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire



Mai 2023

- **AUTEURS**

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ - DIRECTION BRETAGNE

MIKAËL LE BIHAN

MAIL : mikael.le-bihan@ofb.gouv.fr

TEL : 02-23-45-06-06

- **CONTRIBUTEURS**

- Marie-Andrée ARAGO, Josselin BARRY, Colas BOUDET, Alexandra HUBERT, Anthony LE CHAUX, Olivier LEDOUBLE, Alix NIHOARN, Thibault VIGNERON, Pascal VOLPATO (Office Français de la Biodiversité)
- Anaïs DEBOISE, Johann DEBRIL (Syndicat des Bassins versants de la Lieue de Grève, 2014)
- Angélique AUSSOURD, François BONTEMPS (Communauté de Communes du Pays de Caulnes, 2013)
- Guillaume BOUAS, Grégory DUPEUX, Yvonnick FAVREAU, Emma LIBERATI (Bureau d'études Hydroconcept)
- Réjane DEBROISE, Timothée LEPERLIER (Communauté de communes - Cœur Emeraude, 2020)
- Camille VERSCHAEVE (Bassin versant de La lieue de Grève, 2020)
- Gwendal LE BRIS (Bureau d'Etudes Hardy Environnement)
- Sébastien RENO (Etablissement Public Territorial du Bassin de la Sèvre Nantaise)

- **REMERCIEMENTS**

De nombreuses personnes ont contribué à l'accomplissement de cette étude et je tiens à les remercier pour l'aide apportée.

- **MOTS CLES :**

Directive Cadre sur l'Eau ; Diagnostic écologique ; Restauration écologique ; Artificialisation ; Ruisseau

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : régional

Couverture géographique : Bretagne, Pays de la Loire

Niveau de lecture : professionnels, experts

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

Dans l'objectif d'atteinte du bon état des eaux en 2015 fixée par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000, il est nécessaire d'améliorer la connaissance sur l'état des têtes de bassin versant. Le linéaire conséquent de cours d'eau en tête de bassin versant implique d'adapter les méthodes de diagnostic existantes pour notamment appréhender les spécificités de ces milieux.

A ce titre, cette note technique a pour objectif de présenter une méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire. Elle est susceptible d'être utilisée dans le cadre des diagnostics réalisés dans les Contrats Territoriaux - volet Milieux Aquatiques (CTMA) et dans des études plus ponctuelles sur l'état hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant.

La méthodologie proposée a pu être expérimentée dans les Côtes d'Armor en 2013 en lien avec le service départemental de l'ONEMA sur le bassin versant du Kerneuf (Aussourd, 2013), en 2014 sur trois sous-bassins versants (Kerdu, Quinquis et Coat Trédrez) du Grand bassin de la lieue de Grève (Deboise, 2014) et en 2014-2015 dans le Finistère dans le cadre du CTMA de la Douffine. En 2017, cette méthodologie a été appliquée en Ille-et-Vilaine (sur le bassin de la Flume et à Dol-de-Bretagne) ainsi que sur le bassin du Dour Ruat dans le Finistère. En 2018, elle a été déployée en Loire-Atlantique (Cens/Gesvres et sur le bassin de l'Isac) et début 2019 sur un affluent de la Sèvre Nantaise en Vendée. Ces différentes expérimentations ont permis d'améliorer la méthodologie sur de nombreux points.

- **NOTE A L'ATTENTION DES UTILISATEURS**

Cette méthode concerne les petits cours d'eau (généralement de largeur à plein bord inférieure à 3 mètres), sauf les cours d'eau à forte pente (> 5%) et les cours d'eau s'écoulant dans des milieux particuliers (marais, tourbières, estuaires, polders). Elle a été développée sur le territoire des directions Bretagne et Pays de la Loire de l'OFB, ceci implique d'engager une réflexion avec les différentes directions régionales de l'OFB si elle est amenée à être utilisée dans d'autres régions à l'échelle nationale.

La précédente version V2.3 a été rédigée en mars 2020, les remarques des utilisateurs au cours des années 2020, 2021 et 2022 ont permis d'aboutir à cette version revue et enrichie V2.4 en mai 2023. Dans un objectif d'amélioration continue de cette méthode, les utilisateurs sont invités à nous communiquer les éventuelles améliorations à apporter à cette note. Les indices développés dans le cadre de l'exploitation des données sont par ailleurs amenés à évoluer.

- **CITATION**

LE BIHAN M., Version V2.4 au 01/05/2023. Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire. Guide de l'Office Français de la Biodiversité, Direction Régionale Bretagne. 40 pages.

Sommaire

Contenu

A.	Objectifs du document.....	1
B.	Définition des cours d'eau en tête de bassin versant.....	1
C.	Spécificités des cours d'eau en têtes de bassin versant	2
D.	Diagnostic des cours d'eau en têtes de bassin versant.....	2
I.	A l'échelle du bassin versant.....	2
II.	A l'échelle des sous-bassins prioritaires.....	4
1.	Le lit mineur.....	9
2.	La bande riveraine (10 mètres par rive).....	21
3.	Le Réseau Hydraulique Annexe (RHA)	22
4.	Les obstacles transversaux anthropiques à l'écoulement	23
5.	Les « rangs 0 » (optionnel)	24
E.	Exploitation des données du diagnostic des cours d'eau en têtes de bassin versant.....	27
1.	Evaluation de la rugosité du lit mineur du cours d'eau	27
2.	Analyse des profils en travers des segments étudiés (Largeur plein bord, hauteur totale et ratio de forme)	29
3.	Evaluation du débit à plein bord sur tous les tronçons étudiés	29
4.	Evaluation de la puissance spécifique.....	30
5.	Indice d'artificialisation du lit mineur à l'échelle du segment.....	31
6.	Indice de pression dans la bande riveraine.....	32
Le calcul de l'indice à l'échelle du segment est le suivant :	.....	33
7.	Indice de résilience par tronçon.....	33
8.	Indice sur les obstacles à l'écoulement.....	35
9.	Evaluation de la densité en RHA	36
F.	Préconisations de restauration	36
1.	Le lit mineur.....	36
2.	La bande riveraine	38
3.	Les obstacles anthropiques transversaux à l'écoulement	39
4.	Le Réseau Hydraulique Annexe.....	40
5.	Les rangs 0	41

Table des figures

Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler.....	1
Figure 2 : Entités du diagnostic à l'échelle des sous-bassins	4
Figure 3 : Illustration du découpage en segments morphologiquement homogènes.....	5
Figure 4 : Typologie des formes de vallée (d'après Environmental Agency, 2003 ; Mathieu, 2010).....	9
Figure 5 : Illustration de la mesure de la largeur du fond de vallée "à plat"	9
Figure 6 : Modalités d'intermittence des écoulements (Fritz <i>et al.</i> , 2006).....	11
Figure 7 : Schéma type d'un profil en travers simplifié	11
Figure 8 : Exemple de mesures de la largeur à plein bord (d'après Baudoin <i>et al.</i> , 2017).....	11
Figure 9 : Niveau d'encaissement du lit (Hauteur d'encaissement : flèche rouge).....	12
Figure 10 : Description des Classes d'Evolution Morphodynamique (CEM).....	13
Figure 11 : Mesure de la granulométrie (Baudoin <i>et al.</i> , 2017).....	14
Figure 12 : Affleurement de la roche mère suite à des travaux hydrauliques.....	15
Figure 13 : Principe du colmatage superficiel et interstitiel d'un matelas alluvial (©OFB).....	15
Figure 14 : Classes de colmatage	16
Figure 15 : Description des 4 classes d'érodabilité	17
Figure 16 : Photographies des 4 classes d'érosion (a : nulle, b : faible, c : moyenne, d : forte)	17
Figure 17 : Quantité de végétation au sein du lit mineur d'un cours d'eau	20
Figure 18 : Bande riveraine d'un cours d'eau (ONEMA, Nguyen Van, 2012).....	21
Figure 19 : Les rangs 0 (traduit de Benda <i>et al.</i> , 2005)	24
Figure 20 : Schéma d'un rang zéro. En vert, la délimitation la plus courante des bassins de rang 0 ; En rouge, la délimitation des rangs zéro selon Sheridan & Spies (2005) ou Storey <i>et al.</i> (2009)	25
Figure 21 : Granulométrie présente dans les berges d'un cours d'eau en TBV (ONEMA, Jan A., 2013).....	34
Figure 22 : Logigramme accompagnant l'utilisation des trois indices complémentaires.....	35
Figure 23 : Logigramme des méthodes de restauration active de la morphologie des lits mineurs.....	37
Figure 24 : Largeurs minimales recommandées pour l'optimisation des principales fonctions des corridors rivulaires (in CSPNB, 2008).....	39
Figure 25 : Modalités d'entretien des fossés par la technique du tiers inférieur.....	40

Table des tableaux

Tableau 1 : Paramètres descriptifs des différents compartiments étudiés.....	7
Tableau 2 : Type de sinuosité, classe de sinuosité et style fluvial associé.....	10
Tableau 3 : Classes granulométriques et classes de taille associées	14
Tableau 4 : Typologie simplifiée des faciès d'écoulement.....	18
Tableau 5 : Classes d'habitats dans le lit mineur du cours d'eau	18
Tableau 6 : Estimation de la rugosité du cours d'eau	19
Tableau 7 : Evaluation de la quantité d'éléments naturels participant à la rugosité du cours d'eau par la méthode de Cowan	19
Tableau 8 : Evaluation de la quantité de végétation par la méthode de Cowan (Annexe D)..	20
Tableau 9 : Principaux types d'obstacles anthropiques à l'écoulement.....	23
Tableau 10 : Evaluation du degré d'irrégularité par la méthode de Cowan.....	28
Tableau 11 : Correspondance entre CEM/érosion et degré d'irrégularité.....	28
Tableau 12 : Correspondance sur les valeurs de la variable « m »	29
Tableau 13 : Valeurs intermédiaires au calcul de l'indice d'artificialisation	31
Tableau 14 : Valeurs de l'indice d'artificialisation par type d'artificialisation	32
Tableau 15 : Valeurs pour le calcul de l'indice de pression au sein de la bande riveraine.....	33
Tableau 16 : Valeurs pour le calcul de l'indice de résilience par tronçon.....	34

A. Objectifs du document

Les objectifs de ce document sont multiples :

- rappeler la définition et les principales spécificités des cours d'eau en tête de bassin versant,
- mettre en œuvre un diagnostic adapté aux spécificités des cours d'eau en tête de bassin versant,
- mettre en place un niveau de segmentation permettant de proposer des solutions de restauration adaptées à chacune des problématiques ciblées.

Certaines atteintes aux têtes de bassin versant ne peuvent trouver une réponse efficace et durable qu'à **l'échelle du bassin versant** ou du lit majeur (imperméabilisation des sols, lessivage des sols nus, prélèvements d'eau, destruction de zone humide, etc.) et nécessiteront une analyse complémentaire sur d'autres compartiments (ex : zones humides, haies/talus, mares, etc.). Cette note ne traite pas de l'évaluation de l'état des zones humides en tête de bassin qui nécessite une étude à part entière mais il faut garder à l'esprit que les actions de restauration des cours d'eau sont susceptibles d'influencer le fonctionnement des zones humides adjacentes.

B. Définition des cours d'eau en tête de bassin versant

Les cours d'eau en tête de bassin versant correspondent aux **cours d'eau de rang de Strahler 1 et 2** à l'échelle 1 : 25.000 (Figure 1).

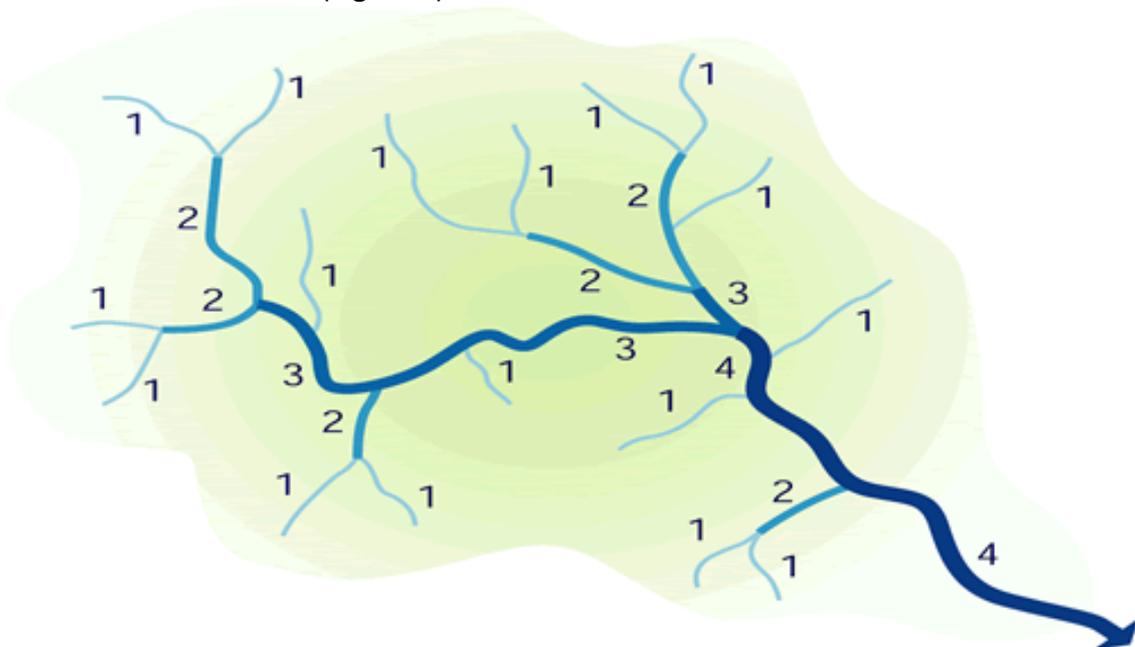


Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler
(Environmental Protection Agency, 2009)

Les cours d'eau en tête de bassin versant représentent de **60 à 85 % du linéaire total de cours d'eau** (Schumm, 1956 ; Shreve, 1969 ; Meyer & Wallace, 2001 ; Benda *et al.*, 2005 ; Pederson

et al., 2001 ; Meyer *et al.*, 2003 ; Gomi *et al.*, 2002 ; Le Bihan, 2009 ; Malavoï, 2009 ; Le Bihan *et al.*, 2020). Leurs bassins versants drainent entre 70 et 80% de la superficie totale du BV (MacDonald & Coe 2007). La surface unitaire d'une tête de bassin versant de rang de Strahler 1 ou 2 est de 1 à 2 km² sur les régions Bretagne, Pays de la Loire (Le Bihan *et al.*, 2020).

C. Spécificités des cours d'eau en têtes de bassin versant

Des décennies de recherches scientifiques ont démontré que les têtes de bassin versant **conditionnent en quantité et en qualité les ressources en eau à l'aval** (Alexander *et al.*, 2007).

Les spécificités de ces milieux (zone d'interface entre les milieux aquatiques et terrestres, cours d'eau de petits gabarits et souvent intermittents, faibles présences sur les cartes IGN, etc.) leur confèrent des **caractéristiques particulières** (Richardson, 2019). Ces espaces constituent des zones privilégiées pour les processus d'épuration des eaux (Oraison *et al.*, 2011 ; Nicolas *et al.*, 2013), contribuent à la régulation des régimes hydrologiques et constituent des habitats d'une grande biodiversité avec une faune et une flore spécifique. La clé de la fonctionnalité des cours d'eau en tête de bassin en zone tempérée est la dégradation de la matière organique **naturelle** (Lecerf, 2005 ; Baudoin, 2007). L'ensemble de ces fonctions écosystémiques rendues par les têtes de bassin versant sont à l'origine de services primordiaux (FMA, 2020).

Cependant, de multiples pressions cumulées nuisent au fonctionnement de cette ressource vitale. Il est par conséquent nécessaire de **préserver et de restaurer les têtes de bassin versant par des mesures adaptées**.

D. Diagnostic des cours d'eau en têtes de bassin versant

Le linéaire conséquent de cours d'eau en tête de bassin versant ainsi que leurs particularités imposent **d'adapter les méthodes de diagnostic existantes**.

Dans le cadre d'opérations de restauration hydromorphologique de cours d'eau, il est pertinent de réaliser le diagnostic à **2 échelles d'observations complémentaires**.

I. A l'échelle du bassin versant

Ce diagnostic à l'échelle du bassin versant permet d'obtenir l'état global des pressions hydromorphologiques s'exerçant sur le territoire étudié afin dans un second temps d'identifier les secteurs prioritaires d'intervention. La démarche se compose de 3 grandes étapes : cartographie des têtes de bassin versant, caractérisation puis hiérarchisation des têtes de bassin versant. L'ensemble des recommandations relatives à ces 3 étapes sont décrites dans la note technique intitulée « Retours d'expériences techniques, Chapitre 11 Tête de bassin versant » (Le Bihan *et al.*, 2020). Le FMA a également publié en 2020 un guide complémentaire illustrant la démarche proposée à l'échelle du département du Finistère.

Ce diagnostic peut être réalisé quasi-exclusivement à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG).

La cartographie des têtes de bassin versant :

Actuellement, il existe différentes méthodes pour identifier les têtes de bassin versant sur un territoire donné (Le Bihan *et al.*, 2020).

Cette cartographie repose sur l'utilisation d'un réseau hydrographique. Une attention particulière doit être portée au choix de ce référentiel pour réaliser cette identification. En présence d'une cartographie des cours d'eau au titre de la police de l'eau sur le territoire étudié, il est recommandé d'utiliser ce référentiel. Toutefois, si des manques sont constatés, il est essentiel de prévoir l'identification des cours d'eau « oubliés » (méthode rappelée en ANNEXE A) afin de les intégrer lors d'une actualisation du référentiel. A minima et à défaut de données plus précises et homogènes sur le territoire étudié, il est pertinent d'utiliser la BD TOPO au 1 : 25 000. Il est important de garder en tête les limites des référentiels utilisés : exhaustivité partielle.

La première étape consiste à découper le linéaire de cours d'eau en suivant la classification de Strahler, en séparant les confluences successives.

La caractérisation des têtes de bassin versant :

Une fois les bassins versants des cours d'eau de rangs 1 et 2 obtenus, l'étape de caractérisation débute.

 Il est important de s'assurer que cette étape de caractérisation permette de déterminer la pente à l'échelle des tronçons (de rang 1 et 2). En effet, dans le cadre du diagnostic à l'échelle des sous-bassins, il est nécessaire d'obtenir cette donnée.

La hiérarchisation des têtes de bassin versant :

Les sous-bassins versants prioritaires sont issus d'un croisement entre les résultats du diagnostic à l'échelle du bassin versant ainsi que des objectifs à l'échelle du contrat.

Dans le cas de petits territoires (quelques dizaines de km²) ou de têtes de bassins déjà identifiées pour mener des actions, il est possible d'appliquer directement le diagnostic à l'échelle des sous-bassins versants.

II. A l'échelle des sous-bassins prioritaires

a. Principes du diagnostic

Au sein de ces sous-bassins versants, un diagnostic d'une précision élevée est réalisé en étudiant **5 groupes de paramètres distincts** : le lit mineur¹, la bande riveraine, les obstacles à la continuité écologique, la présence de réseau hydraulique annexe et les « rangs 0 » (Figure 2).

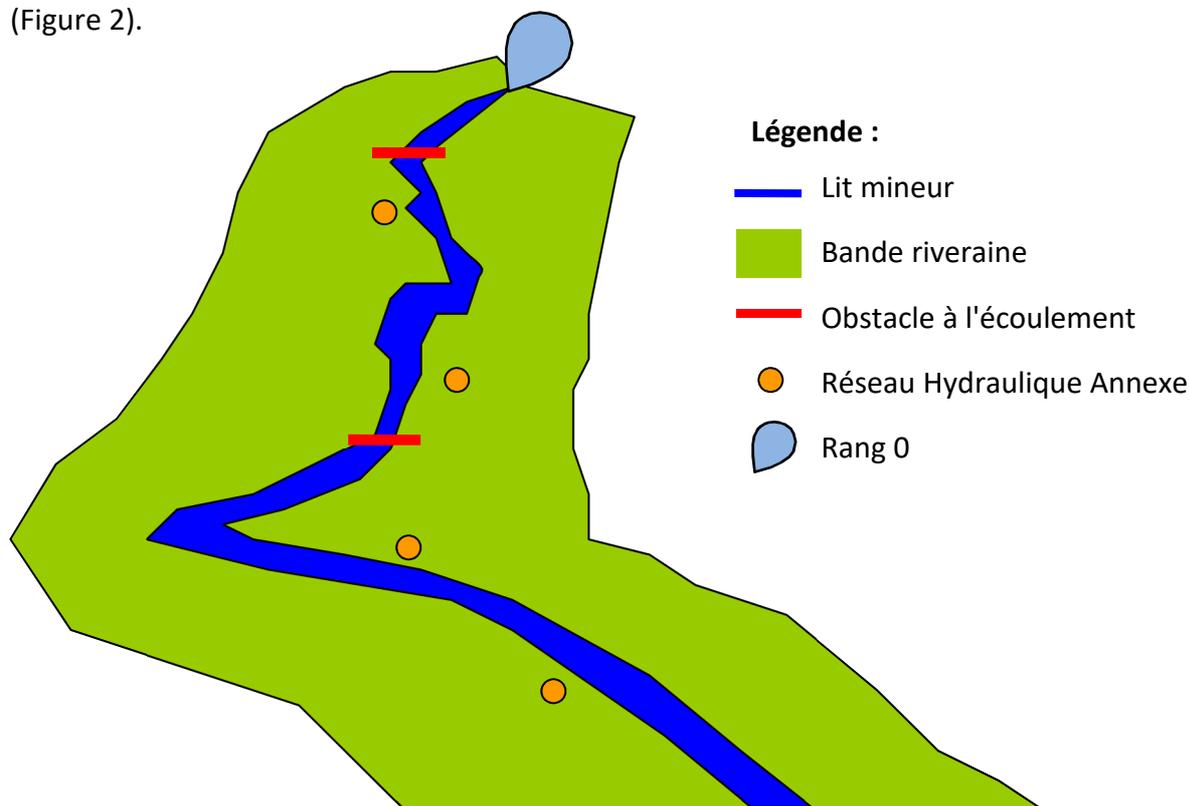


Figure 2 : Entités du diagnostic à l'échelle des sous-bassins

En fonction de spécificités locales à l'échelle des sous-bassins étudiés (exemple : protections des berges, érosion des berges, piétinement, etc.), cette méthodologie peut faire l'objet de compléments techniques pour apprécier des pressions hydromorphologiques particulières (en type ou en intensité). Par exemple, les protections de berges peuvent être décrites en intensité (ponctuel ou linéaire) et en type (béton, palplanches, enrochements, génie végétal).

¹ En tête de bassin versant, au vu du faible gabarit de ces cours d'eau, généralement de taille inférieure à 2 mètres de large, il est préconisé de considérer l'état du lit mineur comme une seule entité sans distinguer le lit des berges.

L'étude de ces entités s'effectue à l'échelle de segments de quelques centaines de mètres de long (Wasson *et al.*, 1998). Un segment est une entité morphologiquement homogène obtenue en étudiant les 5 facteurs suivants : talweg, profil en long, tracé en plan, profil en travers et occupation des sols². Le changement significatif d'un de ces critères entraîne la création d'un nouveau segment (Figure 3). De plus, à chaque confluence avec un cours d'eau, il est essentiel de créer un nouveau segment.



Figure 3 : Illustration du découpage en segments morphologiquement homogènes

Par exemple, dans l'étude Cens et Gesvres (2019), la longueur moyenne des segments était d'environ 95 mètres (Minimum = 10 mètres ; Maximum = 890 m) (Données Hydroconcept).

En tête de bassin versant, ce niveau de découpage correspond à celui des opérations de restauration hydromorphologique et les critères étudiés doivent répondre à un double objectif : qualification de l'état hydromorphologique et informations techniques permettant de choisir les techniques de restauration à appliquer sur un segment donné.

En tête de bassin versant, certaines informations méritent d'être collectées avec précision à l'échelle des segments identifiés dans la phase de diagnostic :

- ✓ **Les cours d'eau qui ne sont pas identifiés sur les cartographies** (cours d'eau « oubliés ») doivent être relevés avec précision. En effet, selon les territoires et en

² En contexte urbain, il est préconisé de ne pas tenir compte du changement d'occupation des sols dans la segmentation en raison de la mosaïque d'entités (ex : jardins, chemins, habitations, etc.) constatée sur le terrain.

l'absence d'inventaire de terrain, entre 10 et 50 % du linéaire de cours d'eau au titre de la police de l'eau (article L.215-7-1 du CE) ne figuraient pas sur les cartes IGN au 1 : 25 000 (Le Bihan, 2012) avant la cartographie des cours d'eau au titre de la police de l'eau.

- ✓ **Les tronçons en situation de « référence » hydromorphologique³** devront être identifiés avec précision. En effet, ces derniers pourront servir d'éléments de connaissance pour la restauration future de ces écosystèmes.
- ✓ **La présence du bois en rivières devra être appréciée.** En effet le bois en rivières a été reconnu comme un enjeu écologique mondial depuis les années 2000 par la communauté scientifique. Ainsi, il faudra veiller à abandonner progressivement le terme "d'embâcles" qui n'est pas adapté pour désigner le bois présent dans les cours d'eau.
- ✓ **Le niveau d'intermittence des écoulements** est à caractériser car il fait partie des facteurs limitant la réussite des opérations de restauration hydromorphologique. De plus, il est associé à des recommandations techniques particulières lors de la restauration (Le Bihan, 2022). Phénomène qui peut être d'origine naturelle, il est essentiel d'identifier les principaux facteurs, qu'ils soient anthropiques ou naturels, altérant l'hydrologie du cours d'eau étudié. La distinction de la part anthropique et naturelle à l'origine de ces phénomènes d'intermittence est souvent délicate.
- ✓ **Il est important de veiller dès la phase de terrain à identifier la possibilité de réaliser des opérations de restauration ambitieuses** (exemple : segment rectifié méandrique à l'origine, cours d'eau en dehors du talweg, cours d'eau fortement incisé, fond de vallée plat avec possibilité de recréer un nouveau lit en rive gauche ou en rive droite, zone humide remblayée, etc.).

D'un point de vue pragmatique, il est préférable de réaliser ce diagnostic à une période hydrologique favorable aux observations en tête de bassin versant. Cette période va généralement du mois d'octobre au mois d'avril (sur une année hydrologique « standard »). Cette période permet une meilleure description des paramètres à étudier et facilite le déplacement sur le terrain, notamment du fait de l'encombrement plus faible des lits mineurs par la végétation. Une visite complémentaire peut être réalisée durant l'étiage afin de caractériser le degré d'intermittence des cours d'eau.

Les informations bancarisées par segments sont renseignées dans le tableau ci-dessous :

³ Dans cette méthodologie, un tronçon de « référence correspond » à « un écosystème historique, pas ou peu perturbé, représentatif de son environnement naturel local » (Chaves *et al.*, 2006 ; Stoddard *et al.*, 2006 ; Sanchez-Montoya *et al.*, 2009 ; Yates & Bailey, 2009). Un tronçon est qualifié de « référence » s'il possède l'ensemble de ces principaux critères : un recouvrement et une composition végétale appropriée au type de cours d'eau et à sa région (Barbour *et al.*, 1996 ; Wallin *et al.*, 2003) ; l'absence d'espèces exotiques, qu'elles soient animales ou végétales (Bonada *et al.*, 2004) ; l'absence de drains et d'effluents (Wallin *et al.*, 2003 ; Nijboer *et al.*, 2004) ; une continuité écologique entre l'amont et l'aval (Wallin *et al.*, 2003) ; une connectivité latérale avec la zone riparienne (Wallin *et al.*, 2003) ; l'absence d'extraction de granulats (Davies, 1994) ; un substrat représentatif du type du cours d'eau et de sa région (Barbour *et al.*, 1996) ; l'absence de réservoirs (barrages, étangs, ...) sur et en amont du site (Hering *et al.*, 2004) ; la présence de bois en rivière (Hughes, 1995 ; Barbour *et al.*, 1996 ; Bonada *et al.*, 2004) (in Jan, 2013).

Tableau 1 : Paramètres descriptifs des différents compartiments étudiés

Compartiment	Description
Lit mineur	Type de réseau Forme de la vallée Largeur du fond de vallée à plat Positionnement par rapport au talweg Sinuosité Type d'écoulement Profil en travers simplifié (1) / Si cours d'eau de référence (3) Niveau d'encaissement Classes d'Evolution Morphodynamiques Granulométrie dominante et accessoire des radiers Colmatage des radiers et plats courants Matériaux des berges Erodabilité des berges Erosion des berges Apport solide Proportion des faciès d'écoulements Diversité d'habitats Rugosité du lit mineur Observations : spécificités (cours d'eau de référence, zone humide remblayée, etc.), photographies Nature d'intervention 1 et 2
Bande riveraine (analyse par rive ; 0-5m et 5-10m)	Type d'occupations des sols Description de la ripisylve (nature, épaisseur, continuité) Observations Nature d'intervention
Réseau hydraulique annexe (drains, fossés)	Présence de drains, fossés Nature de la connexion Préciser si impacts à connexion (morphologique, pollutions) Hauteur par rapport à la ligne d'eau Si fossés : profondeur et rugosité Observations, photographies
Obstacles à la continuité écologique	Type et sous-type Longueur, largeur de l'ouvrage Hauteur de chute, Fosse d'appel, Tirant d'eau Redan, Substrat Dispositifs de franchissement Usage Observations, photographies Nature d'intervention
Rangs 0	Type et sous-type de source Observations, photographies Nature d'intervention

Il est essentiel de géolocaliser de manière précise (linéaire et rive) les éléments complémentaires pour apprécier les pressions hydromorphologiques particulières (exemple : piétinement de berges, protection de berges...), les moyens de préservation associés (exemple : clôture, abreuvoir...) ainsi que le respect des Zones Non Traitées (ZNT).

 Il est très utile de prendre des photographies pour chacun des segments.

b. Caractérisation des 5 compartiments étudiés

Objectifs : Identifier les altérations morphologiques sur les cours d'eau et les pressions qui s'y exercent.

Ce travail s'effectue parallèlement à la qualification des différents statuts du réseau hydrographique (en cas d'absence de cartographie des cours d'eau). La caractérisation physique du réseau hydrographique s'effectue en plusieurs étapes et s'inspire de plusieurs méthodes (Mathieu, 2010 ; Nguyen Van, 2012 ; Jan, 2013 ; Bossis, 2014 ; Colin, 2015).

✓ Etape 1 : Au préalable, sous SIG

Afin de faciliter la phase de terrain, il est recommandé de pré-identifier certains éléments :

- les cours d'eau enterrés (Le Bihan, 2009 ; Le Bihan, 2010 ; Mathieu, 2010 ; Guillerme, 2015)
- la ripisylve (Hayot, 2012 ; Jan, 2013 ; Baudoin *et al.*, 2017)
- les plans d'eau (géolocalisation, type, superficie) (Nguyen Van, 2012)

 Si la donnée drainage est disponible, il est très intéressant de l'utiliser pour aider à la caractérisation des points de contact avec le Réseau Hydraulique Annexe (RHA).

✓ Etape 2 : Sur le terrain

Le matériel nécessaire à la réalisation de ces phases terrain est le suivant : outil PAD GPS (ou à défaut GPS et fiches terrain), une pige graduée, un mètre, un décimètre, un pied à coulisse (ou une règle) et des sardines de camping (pour fixer le décimètre au niveau du plein bord). Des cartographies de la zone d'étude, présentant les fonds Scan 25 IGN et/ou les photographies aériennes, permettent de faciliter le recueil d'informations.

Il est recommandé d'effectuer **la prospection de l'amont vers l'aval** afin de faciliter la segmentation et de bien appréhender l'évolution des altérations.

Le temps moyen de prospection est estimé à 5 km par jour.

Pour rappel, la démarche consiste à segmenter le réseau de cours d'eau en segments morphologiquement homogènes selon 5 critères : talweg, tracé en plan, profil en long, profil en travers et occupation des sols). Le changement brutal et significatif d'un de ces 5 critères génère la création d'un nouveau segment. Un segment mesure plusieurs dizaines de mètres à quelques centaines de mètres de long.

1. Le lit mineur

A l'échelle des segments, plusieurs informations descriptives du lit mineur et des berges sont relevées et bancarisées :

- **La date**
- **L'identification du segment**
- **La localisation précise du segment** (à partir de relevés terrain GPS en WGS 84, degrés décimaux, amont et aval ou à défaut à partir d'une lecture précise des photographies aériennes)
- **Le type de réseau** : cours d'eau, cours d'eau enterré (Le Bihan, 2009 ; Mathieu, 2010 ; Goron, 2012 ; Guillerme, 2015), plan d'eau en barrage

👉 Les cours d'eau enterrés sont renseignés en tant que segment à partir d'un linéaire supérieur à 10 mètres. Si le linéaire est inférieur à 10 mètres, ils sont renseignés uniquement en tant qu'obstacle à l'écoulement.

👉 Pour les linéaires caractérisés en cours d'eau enterré ou en plan d'eau en barrage, la description des critères relatifs au lit mineur prend fin après cette partie « type de réseau ».

- **La forme du talweg** (d'après Environmental Agency, 2003 ; Mathieu, 2010 ; Figure 4)

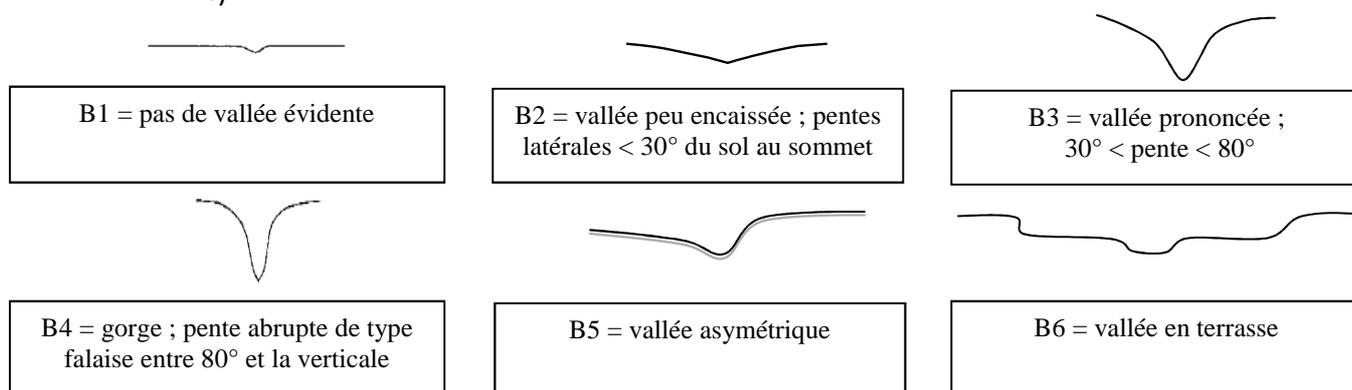


Figure 4 : Typologie des formes de vallée (d'après Environmental Agency, 2003 ; Mathieu, 2010)

- **La largeur du fond de vallée « à plat » (en mètres)** : Une largeur représentative est mesurée au décimètre ou au télémètre (Figure 5).



Figure 5 : Illustration de la mesure de la largeur du fond de vallée "à plat"

- **La position au sein du talweg** : dans le talweg, hors talweg

👉 La détermination de la position au sein du talweg correspond à une évaluation visuelle du fond de la vallée. Le cours d'eau est qualifié « hors talweg » quand l'observateur constate visuellement une différence altitudinale significative entre l'emplacement actuel du lit et le talweg (suggérant la possibilité d'une remise dans le talweg).

- **La sinuosité** (adapté de Malavoi & Bravard, 2010 ; Nguyen Van, 2012)

La qualification du style fluvial sur le terrain en **5 modalités** (Tableau 2) s'effectue par une expertise basée sur des critères naturels déterminants du style fluvial en tête de bassin versant (pente de la vallée, forme de la vallée) ainsi que des traces de travaux de rectification ou de simplification du tracé (exemple : anciens méandres visibles sur le terrain, endiguement, etc.).

Tableau 2 : Type de sinuosité, classe de sinuosité et style fluvial associé

Type de sinuosité (pour le calcul de l'indice d'artificialisation)	Rectiligne	Sinuosité réduite par rapport à la sinuosité naturelle	Tracé naturel				
Classes de sinuosité	SI < 1,05	-	SI < 1,05	1,05 < SI < 1,15	1,15 < SI < 1,25	1,25 < SI < 1,5	SI > 1,5
Style fluviale	Rectiligne	Limité (sinueux à très sinueux)	Rectiligne naturel ⁴	Peu sinueux	Sinueux	Très sinueux	Méandrique
Schéma avec coefficient de sinuosité associé	 SI = 1	-		 SI = 1,06		 SI = 1,35	 SI = 1,72

👉 Il est essentiel d'effectuer la mesure de la sinuosité du cours d'eau et non pas de celle de l'axe de la vallée (cf. Malavoi et Bravard, 2010, page 64).

👉 En cas de doute sur le coefficient de sinuosité, il est recommandé d'effectuer une mesure sur le terrain sur un linéaire d'au minimum 30 mètres (Jan, 2013 ; Bossis, 2014).

👉 Les cours d'eau présentant des tracés rectilignes avec des modifications anthropiques de leurs axes (exemple : cours d'eau dérivé) sont considérés comme des cours d'eau rectilignes.

⁴ Attention, certains cours d'eau en tête de bassin versant présentant des pentes supérieures à 4-5% et/ou des vallées encaissées peuvent présenter des tracés avec des coefficients de sinuosité très faibles (< 1,05).

- La typologie des écoulements le jour de la visite (Figure 6 et Annexe B)

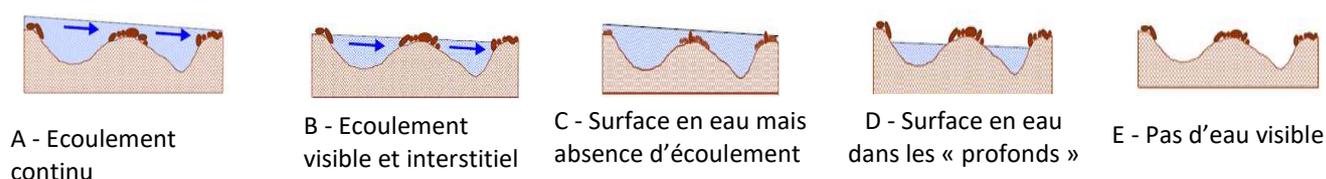


Figure 6 : Modalités d'intermittence des écoulements (Fritz *et al.*, 2006)

- 👉 La réalisation de passages à des périodes stratégiques de l'année (période d'étiage notamment) permet de distinguer les cours d'eau intermittents des cours d'eau permanents.
- 👉 De nombreux paramètres ne sont pas caractérisables sur les modalités d'écoulements B, C, D et E.

- La Mesure d'un profil en travers représentatif du segment (1 mesure Lpb, Lbase et Htotale) (Figure 7)

Il est conseillé de réaliser un profil en travers du lit mineur représentatif du segment étudié (en précisant le faciès d'écoulement sur lequel le transect est réalisé).

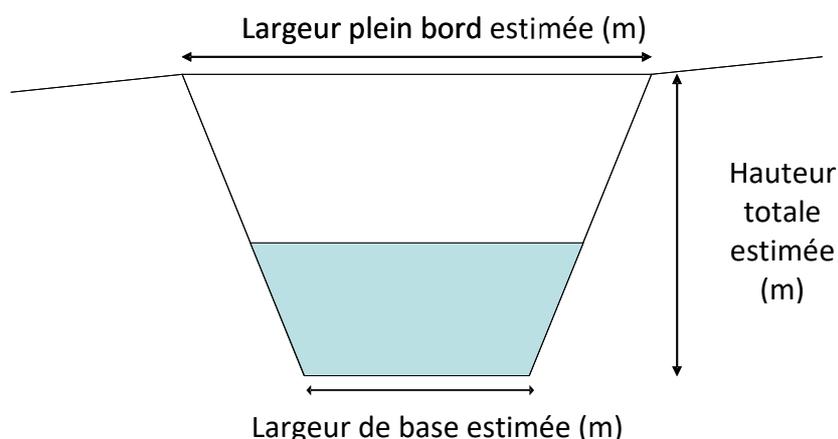


Figure 7 : Schéma type d'un profil en travers simplifié

Le lit à pleins bords d'un cours d'eau correspond à la capacité d'écoulement maximale du chenal avant débordement dans la plaine d'inondation (Baudoin *et al.*, 2017 ; page 9). Sur le terrain, il s'agit de la largeur du cours d'eau mesurée à la hauteur du point d'inflexion de la berge la plus basse (Figure 8).



Figure 8 : Exemple de mesures de la largeur à plein bord (d'après Baudoin *et al.*, 2017)

La détermination de la largeur à plein bord peut poser des soucis aux opérateurs dans certaines configurations (exemple : vallée en gorge, deux bras avec îlot central, présence de merlon, ...). Ces cas particuliers ont été explicités au sein du « Protocole de recueil de données

hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied » (Baudoin *et al.*, 2017, pages 9 à 13).

- **Pour les cours d'eau de référence : mesure de 3 profils en travers représentatifs du segment** (mesure Lpb et H totale)

Si possible sur un plat, un radier et une mouille (en évitant les zones de méandres pour réaliser cette mesure). En effet, c'est au droit des points d'inflexion des méandres ou des portions rectilignes que se trouvent généralement les faciès d'écoulement (radier ou plus courant) les plus favorables aux mesures permettant les calculs hydrauliques (Manning-Strickler) (Baudoin *et al.*, 2017).

Les segments présentant des caractéristiques de « référence » étant rares sur le territoire Bretagne, Pays de la Loire, il est possible de bancariser ces données sur un fichier spécifique afin de ne pas alourdir le format de la base de données avec des champs peu renseignés.

- **Le niveau d'encaissement du lit d'origine anthropique (en rive gauche et/ou en rive droite)**

Pour les cas de remblais en lit majeur ou d'incision du cours d'eau, il est intéressant de préciser le niveau d'encaissement en mètres. Le niveau d'encaissement du lit est évalué à partir de la limite du lit à plein bord (Figure 9).

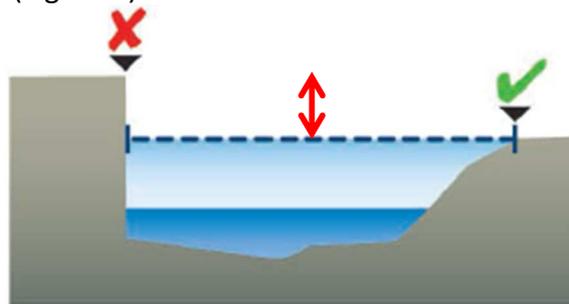


Figure 9 : Niveau d'encaissement du lit (Hauteur d'encaissement : flèche rouge)



Les merlons de curage continus sur une ou deux rives ainsi que les talus doivent être considérés comme un encaissement du lit d'origine anthropique.

- **Les Classes d'Evolution Morphodynamiques** (Simon, 1989 ; Annexe C)

Suite à une perturbation, un cours d'eau peut présenter différents stades d'évolution morphodynamique. En 1989, Simon a ainsi proposé 6 étapes d'évolution d'un cours d'eau suite à des travaux hydrauliques (Figure 10).

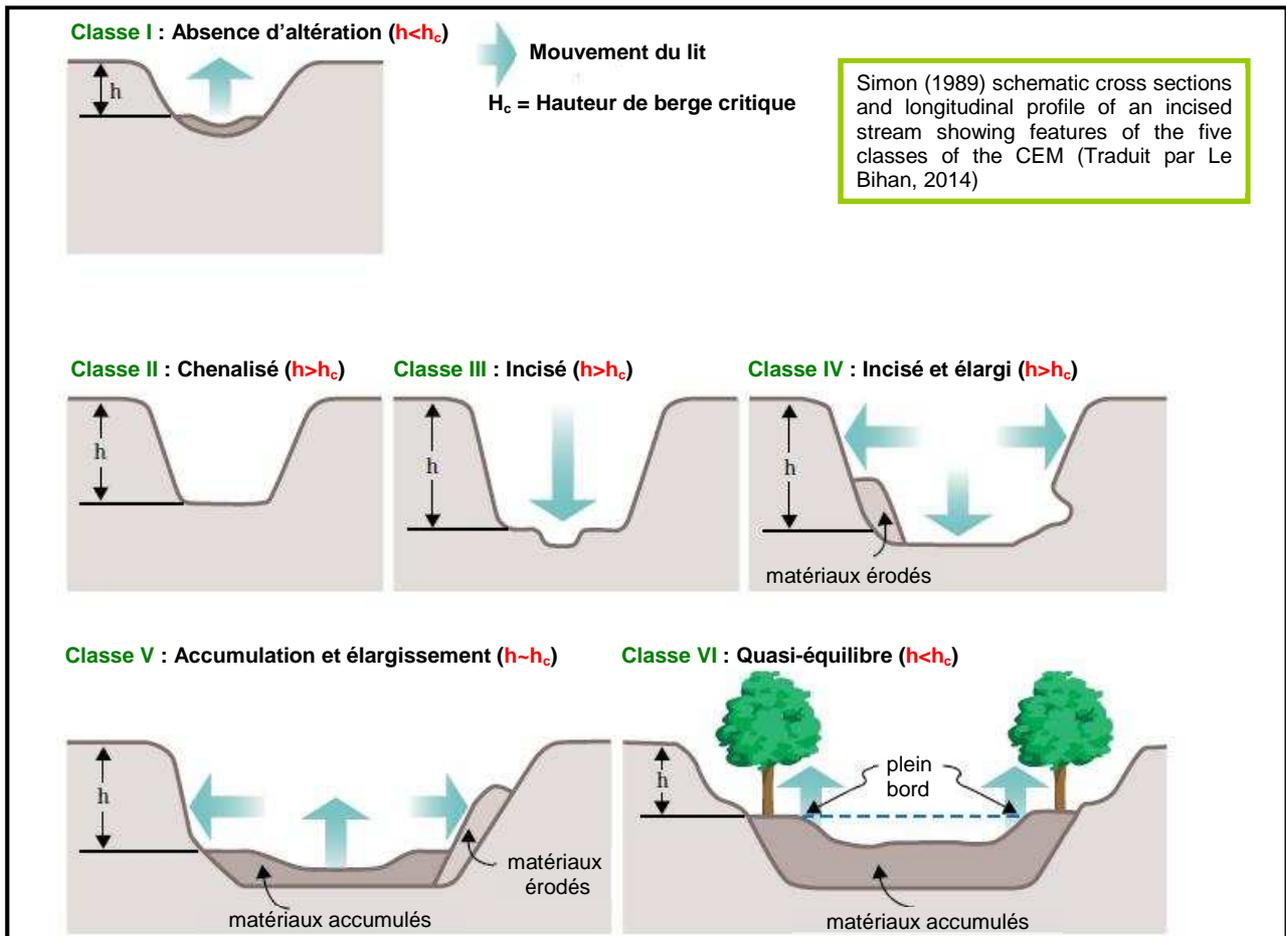


Figure 10 : Description des Classes d'Evolution Morphodynamique (CEM) d'un cours d'eau suite à des travaux hydrauliques

Les chenalizations anciennes (Classe II a) peuvent être distinguées des chenalizations récentes (Classe II b) afin de faciliter la qualification des CEM sur le terrain (sans modifier l'indice d'artificialisation).

- **La largeur des banquettes** : si un segment est identifié dans la classe V ou VI, il est nécessaire de déterminer la largeur en fond de « lit emboité » (largeurs des banquettes en rive gauche, en rive droite et du lit mineur cumulées, en mètres).

- **La granulométrie dominante et accessoire sur radier (ou à défaut plat le plus courant) représentatif du segment**

La mesure de la granulométrie s'effectue sur la plus grande largeur perpendiculaire au plus grand axe de chaque élément de granulométrie (Figure 11) (Baudoin *et al.*, 2017).

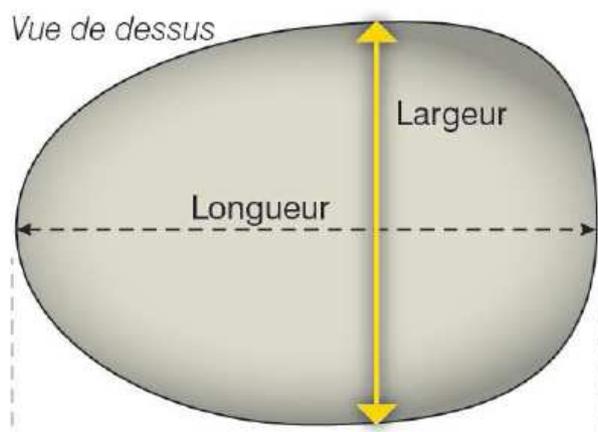


Figure 11 : Mesure de la granulométrie (Baudoin *et al.*, 2017).

Il est proposé de noter les classes granulométriques pour un gain de temps sur le terrain (Tableau 3).

Tableau 3 : Classes granulométriques et classes de taille associées

Nom de la classe granulométrique	Classe granulométrique simplifiée	Classe de taille (Diamètre en mm)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d'argiles)	Dalles	> 1024	D
Rochers		> 1024	R
Blocs	Blocs	256 - 1024	B
Pierres grossières	Pierres	128 - 256	PG
Pierres fines		64 - 128	PF
Cailloux grossiers	Cailloux	32 - 64	CG
Cailloux fins		16 - 32	CF
Graviers grossiers	Graviers	8 - 16	GG
Graviers fins		2 - 8	GF
Sables	Sables	0.625 - 2	S
Limons	Limons	0.0039 - 0.625	L
Argiles	Argiles	< 0.0039	A

✎ Pour des raisons pratiques, il est possible de réaliser une fusion de certaines classes (classe granulométrique simplifiée du Tableau 3).

✎ Préciser en observations les segments où la roche mère affleure (ex : argile, granite, etc.) (Figure 12).



Figure 12 : Affleurement de la roche mère suite à des travaux hydrauliques

- **Le colmatage de la granulométrie des radiers ou à défaut des plats courants** (Archambaud *et al.*, 2005 ; 5 classes)

Le colmatage désigne les dépôts de sédiments fins ou de matière organique issus du développement des activités humaines, qui s'infiltrent dans les interstices du milieu benthique et de l'hyporhéique (Baudoin *et al.*, 2017 ; Figure 13).

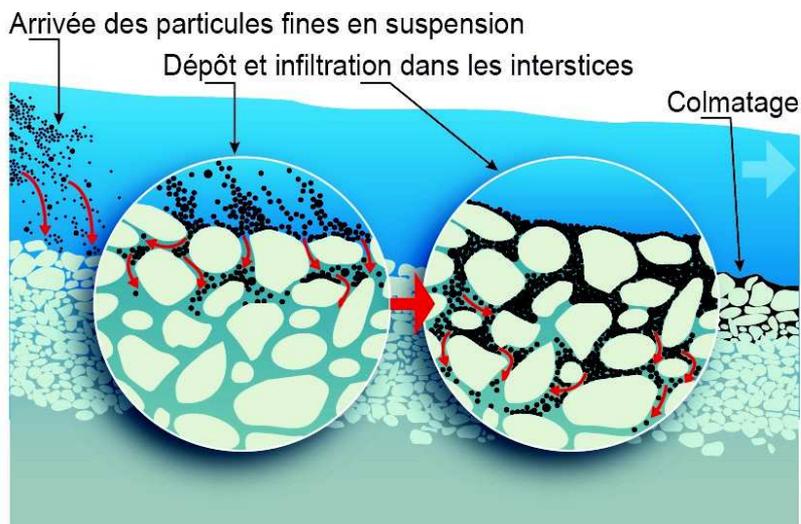


Figure 13 : Principe du colmatage superficiel et interstitiel d'un matelas alluvial (©OFB).

Le CEMAGREF d'Aix-en-Provence a développé une méthode d'évaluation visuelle sommaire mais reproductible du colmatage de surface et du niveau d'enchâssement des éléments grossiers du substrat. Elle consiste à soulever un de ces éléments et à estimer sa facilité d'extraction ainsi que la densité du nuage de fines qui est libéré lors de cette extraction (Archambaud *et al.*, 2005).

Cinq classes de colmatage ont été définies selon ces deux critères (Figure 14) :

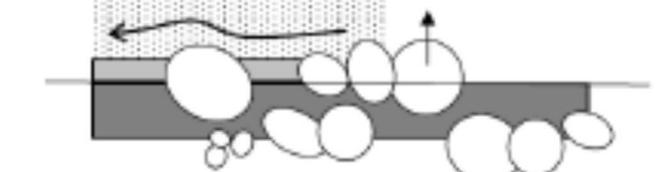
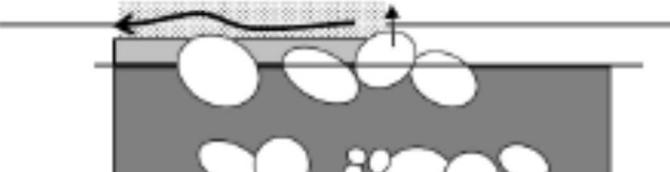
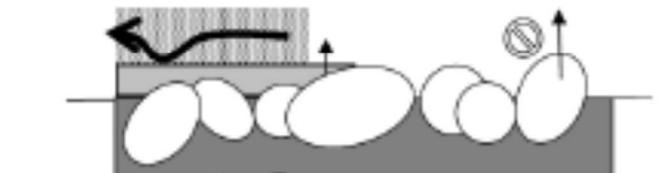
Code	Classes de Colmatage	Représentation du degré de colmatage (lorsque l'on soulève un élément du fond)
1	] 0 - 25%]	 <p>Les éléments sont posés. On peut observer soit un dépôt fin de limons peu colmatant (cas de gauche) soit aucun dépôt (cas de droite)</p>
2	] 25 - 50%]	 <p>Les éléments sont collés par une sous-couche de limon (avec ou sans limon en dépôt). Le nuage de limon qui se soulève est peu dense.</p>
3	] 50 - 75%]	 <p>Les éléments sont légèrement enchâssés et provoquent un nuage de limon assez épais lorsqu'ils se désolidarisent de la sous-couche.</p>
4	] 75 - 90%]	 <p>Les éléments sont très enchâssés et provoquent un nuage épais de limons (accentué ou non par un dépôt de limons)</p>
5	] 90-100%]	 <p>Les éléments sont recouverts de limons et provoquent un nuage très épais (cas de gauche) ou bien sont entièrement cimentés dans la sous-couche et impossibles à soulever (cas de droite)</p>

Figure 14 : Classes de colmatage

👉 Le colmatage de surface ne doit pas être décrit sur des cours d'eau s'écoulant directement sur la roche mère (exemple : argile, granite).

- **L'érodabilité des berges** (d'après Malavoi & Bravard, 2010 ; Figure 15)

Classe d'érodabilité	Description
Erodabilité nulle 	Il s'agit de berges rocheuses ou dont la granulométrie grossière, souvent héritée, fait que les particules ne peuvent plus être entraînées par le cours d'eau actuel.
Erodabilité faible 	Ce sont les berges argileuses (extrêmement cohésives) ou argilo-limoneuses (très cohésives) sur toute la hauteur de la berge. Malgré ce fort degré de cohésion, ces berges peuvent néanmoins être érodées, notamment après une période sèche qui permet la création de fentes de dessiccation. Celles-ci deviennent des zones de faiblesse facilitant l'effondrement gravitaire de la berge. NB : <i>La présence de végétation sur tout ou partie du talus de la berge peut être un indicateur d'une probable faible érodabilité.</i>
Erodabilité moyenne 	Ce sont les berges où le limon est dominant soit dans la texture des alluvions (limon-sableux, voire sable-limoneux), soit dans la stratigraphie (il occupe plus des 4/5 ^{ème} de la hauteur de berges). C'est le cas aussi de berges de granulométrie initialement non cohésive mais qui peuvent être rendues plus ou moins cohésives par précipitation de carbonate de calcium (phénomène de cimentation).
Erodabilité forte 	Les sédiments sableux à caillouteux, dominant sur au moins le 1/4 inférieur de la berge (érodabilité forte), voire sur toute la hauteur (érodabilité très forte).

Figure 15 : Description des 4 classes d'érodabilité

- **L'érosion des berges** (d'après Malavoi & Bravard, 2010)

Appréciée en 4 classes : nulle, faible, moyenne et forte (Figure 16). Il est important de bien faire la différence entre l'érodabilité (sensibilité aux phénomènes d'érosion) et l'érosion (réellement constatée sur le terrain).



Figure 16 : Photographies des 4 classes d'érosion (a : nulle, b : faible, c : moyenne, d : forte)

- **L'apport solide** (Malavoi & Bravard, 2010) : Une appréciation des apports en sédiments grossiers (des berges, des affluents, des fossés, etc.) est effectuée à l'échelle du segment étudié en 4 classes : nul, faible, moyen et fort.
- **Caractérisation des faciès d'écoulement** : pourcentage de radiers, plats courants, plats lents, mouilles, chutes naturelles (Tableau 4 ; Annexe D)

La longueur pour étudier la succession de faciès d'écoulement est fixée à 50 mètres⁵. Cette caractérisation peut être uniquement réalisée pour des modalités d'écoulement continu (modalité A).

Tableau 4 : Typologie simplifiée des faciès d'écoulement

Type de faciès caractérisé dans cette méthode	Equivalence avec la classification de Malavoi & Souchon, 2002 (en ne tenant pas compte du tirant d'eau)
Radier	Radier, rapide
Plat	Plat lent, plat courant
Mouille	Mouille de concavité, fosse de dissipation
Chute naturelle	Chute naturelle (exemple : générée par des blocs, du bois en rivière, un changement de géologie ...)

Dans le cas où cette caractérisation est jugée fastidieuse, il est conseillé à minima de relever sur 50 mètres la distance moyenne de la succession radier - mouille.

- **Evaluation de la quantité d'habitats⁶ pour le fonctionnement biologique du cours d'eau**

Cette évaluation consiste à quantifier le nombre et la diversité des habitats (exemple : bois en rivière, blocs, sous-berge, chevelus racinaires, végétation aquatique, etc.) sur le segment étudié (Tableau 5).

Tableau 5 : Classes d'habitats dans le lit mineur du cours d'eau

Habitats	Descriptif
Négligeable	Habitats quasi-absents sur le segment étudié
Faible	Quelques habitats dispersés
Diversifié	Habitats présents et diversifiés mais absence de certains habitats typiques du cours d'eau étudié (bois en rivière, blocs, sous-berge...)
Important	Diversité et abondance importante d'habitats, similaire à celle d'un cours d'eau naturel

⁵ Les cours d'eau étudiés dans le cadre de ce protocole sont des cours d'eau en tête de bassin versant dont la largeur à plein bord naturelle excède rarement 3 mètres. En suivant les préconisations du protocole CARHYCE (longueur de la station égale à 14 fois la largeur plein bord du cours d'eau), il est retenu une longueur de 50 mètres pour réaliser l'évaluation des faciès d'écoulement.

⁶ Les habitats en tête de bassin intègrent le bois en rivière (>3 cm), les pierres grossières/blocs (deuxième plus grande largeur > 12,8 cm), les sous-berges, le chevelu racinaire, la végétation aquatique, la litière. L'appréciation doit s'effectuer au regard du cours d'eau étudié.

- Estimation de la rugosité du lit mineur

Tableau 6 : Estimation de la rugosité du cours d'eau

Rugosité du lit mineur	Valeurs K	Descriptif
Faible	$K > 30$	Cours d'eau rectiligne, recalibré avec une section homogène, peu d'encombres et une végétation basse.
Moyenne	$20 < K < 30$	Cours d'eau peu sinueux à rectiligne avec quelques irrégularités (portant sur le changement de section du lit mineur / les encombres / la végétation dans le lit mineur)
Forte	$5 < K < 20$	Cours d'eau sinueux à méandriforme, avec des changements de sections du lit mineur et la présence marquée de bois en rivières et/ou de végétation

Pour les opérateurs qui le souhaitent, il est toujours possible d'apprécier le coefficient de rugosité à l'aide de la formule de Cowan (Annexe D).

- **Quantité d'éléments naturels participant à la rugosité du cours d'eau (Cowan)**

Ce paramètre vise à évaluer la quantité d'éléments naturels (bois, blocs, racines) obstruant le lit mineur (Tableau 7 ; Annexe D3).

Tableau 7 : Evaluation de la quantité d'éléments naturels participant à la rugosité du cours d'eau par la méthode de Cowan

Effets des obstructions	N3 (médiane)	Descriptif
Négligeable	0,002	Quelques obstacles épars occupant moins de 5% de la section à plein bord
Faible	0,001	Obstacles occupant moins de 15% de la section à plein bord
Sensible	0,025	Obstacles occupant de 15 à 50% de la section à plein bord
Très marqué	0,045	Obstacles occupant plus de 50 % de la section à plein bord

- **Quantité de végétation dans le lit** (Cowan ; Tableau 8, figure 17)**Tableau 8 : Evaluation de la quantité de végétation par la méthode de Cowan (Annexe D)**

Quantité de végétation	N4 (médiane)	Descriptif (exemple)
Négligeable	0	Végétation quasi-absente de lit mineur (mis à part les éventuelles bryophytes en berge)
Faible	0,006	Quelques tâches éparses de végétation aquatique au fond du lit mineur
Moyenne	0,0175	Végétation basse couvrant sur la moitié de la section du lit à plein bord
Importante	0,0375	Végétation haute couvrant la moitié de la section du lit à plein bord
Très importante	0,075	Végétation haute occupant toute la section du lit à plein bord

**Figure 17 : Quantité de végétation au sein du lit mineur d'un cours d'eau**

- **Observations** : préciser la présence d'un cours d'eau police de l'eau non cartographié, d'un segment de référence hydromorphologique, d'une zone humide remblayée, d'espèces invasives, d'espèces emblématiques, d'une pression ou d'un impact significatif non étudié dans ce protocole, etc.

- **Opportunités de restauration / Nature de l'intervention** : identifier dès la phase terrain les solutions de restauration envisageables (exemple : remise dans le talweg, reméandrage, recréation d'un nouveau lit, recharge granulométrique, suppression de remblais en lit majeur, etc.) **ou de non intervention**. Deux solutions sont à proposer, la première solution correspondant à l'opération la plus ambitieuse (indépendamment des aspects financiers) et la seconde correspond à celle qui apparaît la plus pertinente (meilleur rapport coût financier par rapport aux gains écologiques).

Important : Afin de limiter le biais observateur, il est conseillé de réaliser une inter-calibration sur le terrain avec les différents opérateurs en charge de l'étude sur les paramètres suivants notamment : niveau de segmentation des segments, faciès d'écoulement, Classe d'Evolution Morphodynamique, appréciation de la sinuosité, le colmatage des radiers ainsi que les certains paramètres descriptifs de la rugosité du lit.

2. La bande riveraine (10 mètres par rive)

La largeur de bande riveraine à étudier sur chaque rive a été définie de manière pragmatique en se basant sur la littérature scientifique et technique existante (OFEG, 2001 ; CORPEN, 2008 ; CSPNB, 2008 ; Le Bihan, 2014).

Au vu des différences importantes constatées sur le terrain entre les bandes 0-5 et 5-10 mètres dues notamment à l'application des Zones Non Traitées (ZNT), il est nécessaire de décrire sur le terrain ces 2 espaces (Figure 18).



Figure 18 : Bande riveraine d'un cours d'eau (ONEMA, Nguyen Van, 2012)

Pour les paramètres suivants, l'analyse s'effectue pour chacune des deux rives :

- **L'occupation des sols** sur une bande de 0-5 mètres et de 5-10 mètres : il est important de décrire avec précision l'occupation du sol sur le terrain en s'assurant que les modalités de description soient compatibles avec le calcul de l'indice de

résilience (cf. partie E.7.). Dans l'indice, la surface enherbée intègre les prairies temporaires, permanentes et les bandes enherbées.

 Les parcelles en surface enherbée/terre labourable où les drains/fossés ne sont pas visibles sont considérées par défaut comme des parcelles non drainées dans l'évaluation.

- La nature de la ripisylve⁷ : absente, naturelle, exotique, plantée (Baudoin *et al.*, 2017)
- L'épaisseur de la ripisylve (si présente) : 0-2 mètres ; 2-5 mètres ; 5-10 mètres ; > 10 mètres (adapté Baudoin *et al.*, 2017)
- La continuité de la ripisylve (si présente) : isolée, espacée- régulière, bosquets éparses, semi-continue, continue (Baudoin *et al.*, 2017)
- La nature de l'intervention

 En fonction de l'importance de la thématique ripisylve, il est possible de relever les différentes strates.

Comme annoncé en page 7, plusieurs pressions complémentaires doivent être relevées de manière précise sur le terrain (linéaire et rive) afin de ne pas surestimer le linéaire impacté : piétinement, altération des berges par la circulation par des engins motorisés, présence d'abreuvoir (exemple : abreuvement direct, pompe à museau, etc.).

3. Le Réseau Hydraulique Annexe (RHA)

Le Réseau Hydraulique Annexe (RHA) est un réseau artificiel intégrant les fossés et les drains.

De manière ponctuelle (information rapportée sous forme de points) :

- La date
- L'identifiant du segment (où se connecte le réseau hydrographique annexe)
- Les coordonnées GPS en WGS 84, degrés décimales, amont et aval en précisant la rive ou à défaut à partir d'une lecture précise des photographies aériennes
- Le type de réseau hydraulique annexe (buse, drain, exutoire de plan d'eau, fossé, ruissellement direct, talweg)
- Le type de connexion (directe ou indirecte)

 Si la connexion est indirecte, il faut préciser la modalité de déconnexion (exemple : zone tampon artificiel, fossé aveugle, piège à sédiments, etc.)

- La hauteur de l'exutoire par rapport à la ligne d'eau du cours d'eau

 Ce paramètre doit être relevé avec précision puisqu'il conditionne les possibilités de rehausse du lit mineur du cours d'eau.

- La profondeur des fossés (Gayet *et al.*, 2016) : mesure ou classes de profondeurs permettant de distinguer les rigoles (profondeur < 0,3 m), les fossés (profondeur ≥ 0,3 m et < 1 m) et les fossés profonds (profondeur ≥ 1 m).
- 2 éléments descriptifs de la rugosité des fossés (quantité d'obstacles : négligeable, faible, sensible, très marquée / quantité de végétation dans le lit : négligeable, faible, moyenne, importante, très importante)

⁷ Dans cette méthode, la description de la ripisylve intègre la strate arbustive (entre 2 et 7 mètres) et la strate arborée (≥ 7m).

- **Observations :** Cette case « observations » a pour vocation à renseigner la présence éventuelle d'une pollution ponctuelle (hydrocarbures, matière organique, phytosanitaires, autres), d'un impact biologique visible à la connexion (développement algal, queue de moutons, végétation traitée, tubifex, ...), d'un impact morphologique en aval de la connexion (colmatage, érosion, incision, incision et érosion) ou encore d'un impact thermique (en relevant la température des eaux apportées par le RHA considéré). Elle peut également être informée sur un entretien récent inadapté ou encore sur un linéaire de RHA présentant les caractéristiques d'un cours d'eau au titre de la police de l'eau (article L.215-7-1 du CE ; demande d'expertise à prévoir auprès de la DDT(M)).

 Dans le cas où les sous-bassins étudiés sont concernés par des cas de drainages où le cours d'eau sert de collecteur principal du réseau de drainage (exemple : des drains arrivants tous les 10 mètres), il est conseillé de renseigner l'information à l'échelle du segment dans la partie bande riveraine en précisant les rives concernées, et non pas de manière ponctuelle.

 Il est également possible de caractériser l'intégralité du linéaire de fossés sur certains sous-bassins versants mais ce choix est de nature à augmenter très fortement la durée de la phase terrain (en fonction de la densité de fossés par km²). Cette prospection est à effectuer préférentiellement en période de hautes eaux afin de mieux caractériser la fonctionnalité hydraulique de ce réseau.

4. Les obstacles transversaux anthropiques à l'écoulement

De manière ponctuelle (information rapportée sous forme de points) :

- La date
- L'identifiant de l'obstacle
- Les coordonnées GPS en WGS 84, degrés décimaux ou à défaut à partir d'une lecture précise des photographies aériennes
- Le type d'obstacle (seuil, barrage, obstacle induit par un pont) (Tableau 9)⁸

Tableau 9 : Principaux types d'obstacles anthropiques à l'écoulement

Type d'obstacles (Baudoin <i>et al.</i> , 2014)	Descriptif
Barrage	Ouvrage qui barre plus que le lit mineur d'un cours d'eau permanent ou intermittent ou talweg.
Seuil	Ouvrage fixe ou mobile qui barre tout ou partie du lit mineur.
Obstacle induit par un pont	Obstacle engendré un pont.

- Le sous-type d'ouvrage (adapté de Baudoin *et al.*, 2014) : arche, barrage en remblais, buse béton, buse PEHD, déversoir, enrochement, passage à gué, PICF, PIPO, pont en bois, pont métallique, radier de pont.
- La longueur de l'ouvrage (en mètres)
- La largeur de l'ouvrage (en mètres)
- La hauteur de chute estimée (en mètres)
- La profondeur de la fosse d'appel (en mètres)

⁸ Les obstacles naturels ne sont pas pris en compte (ROE, 2014)

- Le tirant d'eau (en mètres)
- Le redan⁹ (en mètres)
- La reconstitution du substrat : oui (> 30 cm de substrat pour les ouvrages dits « fermés »), partielle (<30 cm de substrat)¹⁰, non
- Les dispositifs de franchissement piscicole : absence, barrette, déflecteur, échancrure, macrorugosité, passe à anguilles, radier aval, rugosité de fond
- Les dispositifs de franchissement pour les mammifères : banquette, buse sèche, passerelle
- L'usage (ex : irrigation, routier, loisir, passage d'animaux, pêche, aucun, etc.)
- Les observations
- Les photographies (au minimum, une photo prise de l'aval de chaque ouvrage)
- Nature de l'intervention

Les informations relevées permettent de distinguer les ouvrages totalement infranchissables, totalement franchissables et ceux nécessitant une expertise complémentaire.

👉 Les obstacles naturels ne sont pas concernés par ce recensement.

👉 Les obstacles sont référencés à partir du moment où ils sont susceptibles de présenter un obstacle à la continuité écologique (à apprécier en fonction des espèces présentes sur le territoire étudié).

5. Les « rangs 0 » (optionnel)

Certains territoires ont annoncé la volonté de pouvoir travailler dès la source des cours d'eau. Un module optionnel a ainsi été proposé à partir de la version V2.3 pour améliorer la connaissance sur les aires d'alimentation directes des cours d'eau, appelées les « rangs 0 » (Benda *et al.*, 2005 ; Galineau, 2020 ; Figure 19).

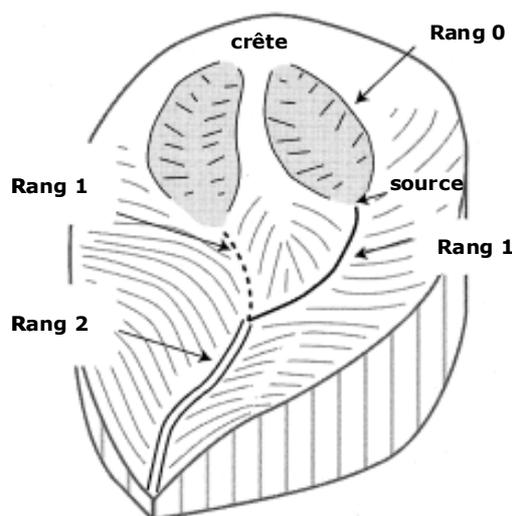
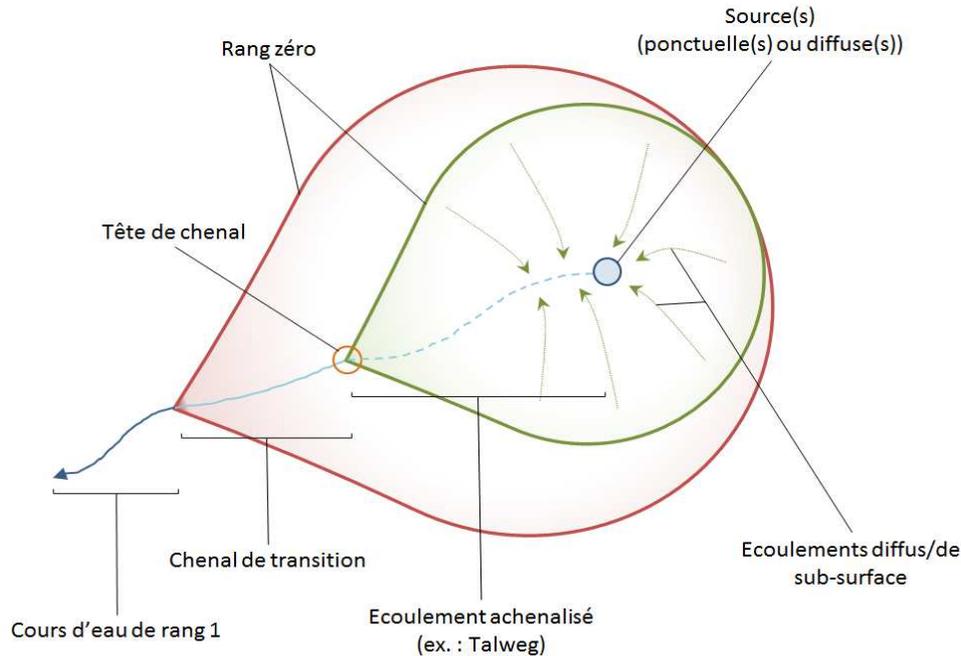


Figure 19 : Les rangs 0 (traduit de Benda *et al.*, 2005)

⁹ Un redan est un décrochement dans le parement du seuil venant briser de façon très marquée la continuité du profil du seuil (Baudoin *et al.*, 2014).

¹⁰ En cas de modification localisée liée à un ouvrage transversal de franchissement de cours d'eau, l'article 6 de l'Arrêté de Prescriptions Générales du 28/11/2007 précise que « Le radier est situé à environ 30 cm au-dessous du fond du lit du cours d'eau et est recouvert d'un substrat de même nature que celui du cours d'eau ».

Le « Rang 0 » désigne dans cette méthode le bassin versant délimité à partir de l'amont du cours d'eau de rang 1 (Figure 20).



D'après Benda et al., 2005 et Grieve, 2018

Figure 20 : Schéma d'un rang zéro. En vert, la délimitation la plus courante des bassins de rang 0 ; En rouge, la délimitation des rangs zéro selon Sheridan & Spies (2005) ou Storey et al. (2009)

Dans la présente méthode, il est proposé de décrire certaines entités du rang 0 : les sources ponctuelles, les sources diffuses ainsi que les chenaux de transition et les talwegs reliant les cours d'eau de rangs 1 aux zones de sources amont.

Les chenaux de transition correspondent à des linéaires où les écoulements superficiels ne sont pas suffisamment concentrés pour produire de l'érosion et creuser un lit aux bordures distinctes (Mac Donald & Coe, 2007).

👉 Attention, certains linéaires peuvent alterner des lits bien marqués puis des lits diffus, dans ce cas, il faut les étudier en tant que rang 1.

De manière ponctuelle (information rapportée sous forme de points) :

- Date
- Identifiant
- Type de source : ponctuelle, diffuse
- Sous-type de source : ponctuelle (résurgence, lavoir, mare, plan d'eau, etc.), diffuse (prairie humide, bois humide, zone humide drainée, etc.).

👉 Cette liste est amenée à être complétée après les premières applications terrain.

- Observations (présence de drainage superficiel ou souterrain, de remblais, de plans d'eau sur source, de déchets, etc.).

- **Photographies**

- **Nature de l'intervention** (préciser les opérations à mener pour préserver et/ou restaurer les sources diffuses et/ou ponctuelles identifiées)

De manière linéaire :

- **Identifiant**

- **Date**

- **Type** : chenal de transition, linéaire potentiel de cours d'eau à expertiser, talweg

- **Observations**

- **Photographies**

👉 La présence d'un chenal de transition n'est pas systématique. Le rang 1 peut débuter dès la source (ponctuelle ou diffuse).

👉 Certains opérateurs terrain caractérisent également les rangs 0 latéraux des cours d'eau étudiés.

E. Exploitation des données du diagnostic des cours d'eau en têtes de bassin versant

Ce protocole présente l'intérêt de fournir à la fois des éléments de diagnostic ainsi que des éléments d'aide à la décision pour le choix des techniques de restauration à mettre en œuvre. Les informations de terrain sont bancarisées au sein d'une base de données et doivent mener à constituer :

- une base de données géolocalisées (en lien avec une photothèque avec les identifiants de segments),
- un atlas cartographique du réseau de cours d'eau, bande riveraine, réseau hydraulique annexe, obstacles à l'écoulement et des « rangs 0 »,
- un groupe d'indicateurs¹¹ permettant d'apprécier les altérations hydromorphologiques des cours d'eau en tête de bassin versant (Indice d'artificialisation du lit mineur, indice de pressions de la bande riveraine, Indice de résilience, Indices relatifs à la continuité écologique)

Les indicateurs sont appliqués selon les cas à l'échelle des segments morphologiquement homogènes ou à l'échelle des tronçons. Les tronçons correspondent aux linéaires de cours d'eau en rang 1 ou en rang 2. La valeur de chaque indicateur est comprise entre [0-1].

La constitution de cette base de données devra permettre une éventuelle compilation future des données à l'échelle d'un territoire plus étendu que le secteur visé par l'étude. Dans le cas où des études anciennes ont été réalisées avec une autre méthode de diagnostic, il est nécessaire d'engager une réflexion sur la faisabilité d'une inter-calibration entre les différentes méthodes.

Pour information, l'EPTB de la Sèvre Nantaise, accompagné du bureau d'études Hydroconcept, a implémenté dans le webSIG Sysma¹² une série d'éléments correspondant à la présente méthode (dictionnaire de données, automatisation des calculs et fiches de restitution). Le dictionnaire de données reprend l'intégralité des métriques de la méthode. Une fois les relevés de terrain réalisés, une série d'automatisation permet de calculer les indices à l'échelle des segments et des tronçons (coefficient de rugosité, débit de plein bord, puissance spécifique, indice d'artificialisation et de résilience, etc.). Ces indices sont ensuite restitués sous formes de fiches de synthèse (fiche synthèse tronçon : <https://sysma.io/img/sysma-tbv.png>).

1. Evaluation de la rugosité du lit mineur du cours d'eau

L'évaluation de la rugosité du lit mineur du cours d'eau s'effectue sur tous les segments étudiés. Deux solutions sont proposées dans cette version V2.4 pour apprécier la rugosité des lits mineurs :

¹¹ La logique de construction des indicateurs est inspirée de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides (Gayet *et al.*, 2016).

¹² Sysma est un « webSIG open source » développé par l'EPTB Sèvre Nantaise, les informations utiles sont disponibles sur le site <https://sysma.io>

✓ **Evaluation sur le terrain en 3 classes**

La description de la rugosité du lit mineur en 3 classes est appréciée directement sur le terrain (Tableau 6).

✓ **Evaluation à partir de la formule de Cowan**

La méthode de Cowan évalue la rugosité avec la formule suivante :

$$K = 1/[(nb + n1 + n2 + n3 + n4) * m]$$

Les valeurs de n cités dans le document sont issues de Cowan et retrouvées dans la thèse de Vidal (Vidal, 2005). Pour chaque n, il est conseillé de retenir la valeur médiane de chaque intervalle.

👉 En raison du biais observateur important pour caractériser la valeur de n1 (cf. tableau 10) relative au degré d'irrégularité des berges, il est proposé d'utiliser la classe d'érosion des berges couplée à la classe CEM (cf. tableau 11).

Tableau 10 : Evaluation du degré d'irrégularité par la méthode de Cowan

<i>Degré d'irrégularité</i>	<i>n₁</i>		<i>Descriptif</i>
	min	max	
Parois lisses	0,000		Comparable au canal le plus lisse possible pour un matériau du lit donné
Irrégularités légères	0,001	0,005	Comparable à des canaux dragués soigneusement, dans un bon état mais avec des berges légèrement érodées ou affouillées.
Irrégularités modérés	0,006	0,010	Comparable à des canaux dragués à la rugosité modérée à conséquente et aux berges modérément dégradées ou érodées.
Irrégularités importantes	0,011	0,020	Berges de cours d'eau naturels éboulées ou sérieusement dégradées ; Parois sérieusement érodées ou éboulées de canaux de navigation ou de drainage ; surface irrégulière et non profilée de canaux creusés dans le rocher.

Tableau 11 : Correspondance entre CEM/érosion et degré d'irrégularité

Classes CEM	Classes d'érosion	Degré d'irrégularités
CEM 2,3, 4, 5	Erosion nulle	Parois lisses
	Erosion faible	Irrégularités légères
	Erosion moyenne	Irrégularités modérées
	Erosion importante	Irrégularités importantes
CEM 1 et 6	-	Irrégularités importantes

La variable « m » correspond au niveau de méandrement. Une correspondance est proposée entre la sinuosité décrite sur le terrain et les valeurs retrouvées dans la thèse de Vidal, 2005 (cf. Tableau 12).

Tableau 12 : Correspondance sur les valeurs de la variable « m »

Valeurs de m	Classes de sinuosité	Thèse de Vidal
1	Rectiligne	Faible
1,15	Sinueux à Très sinueux	Appréciable
1,30	Méandriforme	Fort

✋ Les linéaires rectilignes de manière naturelle ou anthropique la valeur de 1 dans le calcul de la rugosité uniquement.

2. Analyse des profils en travers des segments étudiés (Largeur plein bord, hauteur totale et ratio de forme)

Le ratio de forme correspond au rapport entre la largeur à plein bord et la hauteur totale.

Pour les segments de référence, il traduit l'activité géodynamique du cours d'eau. Il fournit également une indication sur la cohésion des berges : plus celles-ci sont cohésives, plus les cours d'eau sont étroits et profonds et inversement (Malavoi & Bravard, 2010).

Ce ratio illustre l'intensité des travaux hydrauliques pour les segments altérés. Les études menées à la Délégation Bretagne, Pays de la Loire de l'ONEMA ont révélé que les cours d'eau naturels présentaient rarement des ratios de forme Lpb/Ht inférieurs à 3, signes de travaux hydrauliques passés (Bossis, 2014 ; Colin, 2015). Par exemple, un cours d'eau de 90 cm de large ne devrait pas présenter une profondeur supérieure à 30 cm.

Ces données peuvent être comparées à celles issues de la base de données sur les 57 stations de référence de rangs de Strahler 1 de la Dir BPD (Valsangiacomo, 2017). Un accès facilité à ces données via une interface accessible via internet est en cours de réalisation (Irz, 2023, NP).

3. Evaluation du débit à plein bord sur tous les tronçons étudiés

Il existe 2 possibilités pour évaluer le débit à plein bord « naturel » d'un cours d'eau :

- ✓ **A partir de l'analyse des données issues des stations hydrométriques (à l'échelle des tronçons) :**

De nombreuses études scientifiques ont montré que le débit à plein bord d'un cours d'eau était proche **de la crue journalière de fréquence biennale** (Malavoi & Bravard, 2010), également appelée débit moyen journalier de fréquence biennale (ou « QJ2 ») dont la valeur est toujours inférieure au débit de pointe.

Pour déterminer la valeur de ce débit en tête de bassin versant, nous recommandons d'utiliser la formule du ratio de bassin versant simple afin d'éviter tout risque de surdimensionnement des lits mineurs. De plus, nous recommandons de légèrement sous-dimensionner les lits mineurs par rapport à cette valeur QJ2 afin de favoriser les ajustements hydromorphologiques naturels.

La station hydrométrique utilisée pour disposer des données nécessaires à ce calcul doit être représentative du territoire étudié. Si possible, la station retenue doit être située au sein du même bassin versant que le linéaire étudié ou à défaut dans un bassin versant à proximité présentant des caractéristiques relativement similaires (superficie, relief, climat, géologie). Les

HydroEcoRégions (Wasson *et al.*, 2002) peuvent fournir une aide pour effectuer le choix de la station.

Pour le calcul de la surface de bassin versant à étudier (Sbv), il faut prendre comme exutoire le point aval de chaque tronçon.

👉 Au vu des retours d'expériences des utilisateurs, cette version V2.4 déconseille l'utilisation de la formule de Myer pour le dimensionnement des lits mineurs de cours d'eau dans le cadre de projet de restauration. En effet, elle est à l'origine de risques de surdimensionnement, notamment quand les différences de surfaces de bassin versant entre la station hydrométrique et le linéaire étudié deviennent importantes.

- ✓ **A partir de la formule de Manning-Strickler, sur les segments de référence uniquement :**

Le débit à plein bord est évalué à l'aide de la formule de Manning-Strickler.

$$Q = S * Rh^{2/3} * i^{1/2} * K$$

Avec

- S = Surface de plein bord (m²)
- Rh = Rayon hydraulique (m) = Surface plein bord/Périmètre plein bord
- i = pente de la ligne d'eau (m/m)
- K = coefficient de rugosité (ou coefficient de Strickler)

En assimilant la forme du lit à un trapèze, la surface de plein bord se calcule ainsi :

$$S_{pb} = [(L_{pb} + L_{base}) * H_{pb}] / 2$$

En l'absence de données plus précises, la pente peut être récupérée à l'aide des données issues du MNT. Les données S et Rh sont issues des profils en travers simplifiés mesurés à l'échelle des segments. Il est possible d'estimer « grossièrement » les débits à plein bord pour les différents profils en travers mesurés.

4. Evaluation de la puissance spécifique

- ✓ **A partir des profils en travers représentatifs des segments :**

A partir des données des profils en travers, l'évaluation de la puissance spécifique du cours d'eau s'effectue uniquement sur les segments présentant une classe d'évolution morphodynamique stable (segment de « référence »).

$$\omega = (i * Q_{pb} * 9810) / L_{pb}$$

Avec

- ω = puissance spécifique à plein bord (W/m²)
- i = pente (m/m)
- Q_{pb} = débit spécifique à plein bord (m³/s)
- L_{pb} = largeur de plein bord (m)

✋ Pour les valeurs de débits issues des segments de référence, il est nécessaire d'exclure du calcul les fosses et les mouilles de concavité (au risque de surestimer la valeur de la puissance).

- ✓ **A partir des valeurs de débit obtenues grâce à l'analyse des données issues des stations hydrométriques :**

La puissance peut ainsi être estimée à l'échelle de tous les tronçons :

- pente (i) : données issues du MNT
- Q_{pb} : donnée issue des stations hydrométriques
- L_{pb} : en l'absence de données plus précises (retenir 1 m pour un rang 1 et 2 m pour un rang 2)

5. Indice d'artificialisation du lit mineur à l'échelle du segment

Le calcul de l'indice d'artificialisation du lit mineur à l'échelle du segment est le suivant :

$$IA_SEGM_Im = (\sum (I_{talweg} + I_{sinuosité} * 2 + I_{cem} * 2 + I_{rugosité} + I_{couverture}))/7$$

Les valeurs intermédiaires au calcul de cet indice sont fournies dans le tableau 14.

Tableau 13 : Valeurs intermédiaires au calcul de l'indice d'artificialisation

Valeurs des indices intermédiaires au calcul de l'indice d'artificialisation du lit mineur	Note
Valeurs de l'indice intermédiaire "Talweg"	
- dans le talweg	0
- en dehors du talweg	1
Valeurs de l'indice intermédiaire "Sinuosité" (coeff. 2)	
- tracé naturel (rectiligne naturel, sinueux à méandriformes)	0
- limité par rapport à la sinuosité naturelle	0.5
- rectiligne ¹³	1
Valeurs de l'indice intermédiaire "Classe d'Evolution Morphodynamique" (coeff. 2)	
- Classe 1	0
- Classe 6 (évolution naturelle ou lit emboîté suffisamment large)	0.5
- Classe 2, 3, 4, 5	1
Valeurs de l'indice intermédiaire "Rugosité"	
- coefficient de rugosité K : 5 < K < 20	0
- coefficient de rugosité K : 20 < K < 30	0.5
- coefficient de rugosité K : K > 30	1
Valeurs de l'indice intermédiaire "Protection des berges - Enterrement"	
- absence de protection de berges	0
- présence de protection de berges de type génie végétal	0,25
- présence de protection de berges sur les berges du lit mineur	0,5

¹³ Attention, certains cours d'eau en tête de bassin versant présentant des pentes supérieures à 4-5% peuvent présenter des tracés avec des coefficients de sinuosité très faibles (< 1,05). Ainsi, les cours d'eau à forte pente n'ayant pas fait l'objet de travaux hydrauliques doivent présenter la valeur 0 pour l'indice sinuosité.

- présence de protection de berges sur les berges et le fond du lit mineur	0,75
- 100% d'enterrement (par couverture, busage, drainage ou comblement)	1

Les valeurs de rugosité obtenues dans les études en cours sont susceptibles d'entraîner une évolution des classes de rugosité pour la construction de l'indice.

Le calcul de cet indice permet d'obtenir différentes classes d'artificialisation du cours d'eau (cf. Tableau 14) :

Tableau 14 : Valeurs de l'indice d'artificialisation par type d'artificialisation

Type d'artificialisation par segment	Description	Valeurs de l'indice	Couleur proposée
Cours d'eau de « référence »	Modification du lit mineur négligeable	0	Bleu
Cours d'eau naturel	Modification du lit mineur faible	$0 < i < 0.25$	Vert
Cours d'eau semi-artificiel	Modification du lit mineur sensible	$0.25 < i < 0.5$	Jaune
Cours d'eau artificiel	Modification du lit mineur moyenne	$0.5 < i < 0.75$	Orange
Cours d'eau très artificiel	Modification du lit mineur importante	$0.75 < i < 1$	Rouge
Cours d'eau enterré / plan d'eau en barrage	Modification du lit mineur absolu	1	Noir

Dans cet indice, la notion « cours d'eau de référence » correspond à des segments dont la morphologie du lit mineur est considérée comme étant pas ou peu altérée, ne justifiant pas la mise en œuvre d'opérations de restauration au vu de leurs excellents états de préservation.

Cas particuliers : Les cours d'eau caractérisés de « référence » dans l'indice qui présenteraient une quantité d'habitats négligeable à faible peuvent toutefois faire l'objet d'opérations de diversification des habitats et des écoulements (ex : cours d'eau avec des entretiens trop systématiques, cours d'eau restaurés récemment, cours d'eau dérivé ayant reconstitué un nouveau lit, etc.).

Si des traces de travaux hydrauliques (même très anciens), sont encore significatives et visibles à l'œil nu (exemple : merlons de curage, disparition du matelas alluvial, pavage, etc.) le segment étudié ne peut pas être assimilé à un segment de référence.

La présence de remblai en lit majeur sur un segment noté de référence entraîne le déclassement en segment qualifié de « naturel ».

Il est intéressant de bancariser avec précision les linéaires de cours d'eau restaurés sur le territoire étudié afin de pouvoir distinguer les cours d'eau naturels ou de référence des cours d'eau restaurés.

6. Indice de pression dans la bande riveraine

a. A l'échelle du segment

Le calcul de l'indice à l'échelle du segment est le suivant :

$$IP_SEGM_briv = (Occ\ sol\ RG + Occ\ sol\ RD) / 2$$



Plus la valeur est proche de 1 et plus la pression exercée sur la bande riveraine est importante.

Il est recommandé d'effectuer ce calcul pour la bande 0-5 m et 5-10 m en raison des différences fréquentes d'occupation des sols entre ces 2 bandes.

Les valeurs associées à l'occupation du sol sont identifiées au sein du tableau suivant :

Tableau 15 : Valeurs pour le calcul de l'indice de pression au sein de la bande riveraine

Occupation du sol	Note
Milieux forestiers (dont fourrés)	
- sans drainage	0.1
- avec drainage	0.2
Surfaces enherbées (dont prairie et prairie humide)	
- avec ripisylve	0.3
- sans ripisylve	0.4
- avec drainage et/ou avec piétinement	0.5
Terres labourables / Forêt de résineux / Peupleraie	
- non drainées avec ripisylve	0.6
- non drainées sans ripisylve / forêt de résineux ou peupleraie non drainée	0.7
- drainées avec ripisylve	0.8
- drainées sans ripisylve / forêt de résineux ou peupleraie drainée	0.9
Zones industrielles, résidentielles, mosaïque urbaine et plan d'eau en barrage	1



La mise en place des Zones Non Traitées en tête de bassin versant est essentielle (ONEMA, 2015), en cas de non-respect, il convient de noter cette information dans le champ « remarques ».

b. A l'échelle du tronçon

Le calcul de l'indice à l'échelle du tronçon est le suivant :

$$IP_TRONC_bvir = \sum (IP_SEGMx_bvir * Linéaire\ x) / Linéaire\ total\ tronçon$$

7. Indice de résilience par tronçon

Cet indice a donné lieu à d'intenses réflexions (Colin, 2015 ; Bouas, 2016) permettant d'identifier plusieurs signes de résilience sur le terrain (processus d'engraissement, reconstitution partielle ou totale d'une couche d'armure, apparition de banquettes avec différentes largeurs et niveaux de fixations, etc.). La quantité d'informations nécessaire pour qualifier la résilience morphologique n'a pas permis à ce jour de créer un indice simplifié de résilience issu des données de terrain.

La capacité probable d'ajustement morphologique des cours d'eau a été proposée en 2015 dans un groupe de travail de l'ONEMA (STREAM-CE). Cette capacité probable regroupe 4 paramètres : la puissance spécifique, l'érodabilité des berges, le potentiel d'apports solides et l'emprise disponible (cf. tableau 17). Elle est largement inspirée du score d'efficacité géodynamique (Adam *et al.*, 2007 ; Lachat, 2008).

Tableau 16 : Valeurs pour le calcul de l'indice de résilience par tronçon

Tableau relatif à la détermination des notes individuelles			
Puissance spécifique à l'aval du tronçon	<10	N _a	0,0
	10-30		0,3
	30-100		0,7
	≥100		1,0
Erodabilité des berges à l'échelle du tronçon	nulle	N _b	0,0
	faible		0,3
	moyenne		0,7
	forte		1,0
Potentiel d'apports solides (granulométrie) à l'échelle du tronçon	nul	N _c	0,0
	faible		0,3
	moyen		0,7
	fort		1,0
Emprise disponible à l'échelle du tronçon	< 1 largeur de lit	N _d	0,0
	1 à 3 largeur(s) de lit		0,3
	3 à 10 largeurs de lit		0,7
	> 10 largeurs de lit		1,0

Le calcul de l'indice de résilience est le suivant :

$$\mathbf{IResil_TRONC} = \Sigma (N_a+N_b+N_c+N_d)/4$$

Plus la valeur de l'indice de résilience à l'échelle du tronçon tend vers 1, plus la restauration peut être menée passivement.

👉 Le potentiel d'apports solides est estimé par dire d'experts suite à la fin de la phase terrain à l'échelle d'un tronçon. En tête de bassin versant, les apports solides peuvent provenir du fond du lit mineur, des berges, des affluents, des fossés et du lit majeur (cf. figure 21).



Figure 21 : Granulométrie présente dans les berges d'un cours d'eau en TBV (ONEMA, Jan A., 2013)

👉 L'emprise disponible pour la restauration correspond à une appréciation des possibilités de restauration. Par exemple, la modalité « uniquement < à la largeur du lit » correspond à des travaux de restauration dans le lit mineur (exemple : recharge granulométrique, création de banquettes). Elle est définie en fonction de l'occupation des sols, des usages et des contraintes supplémentaires (exemple : route, plan d'eau, remblais importants, etc.).

Il est préconisé de représenter les notes pour chacun des 4 paramètres (puissance spécifique, érodabilité des berges, potentiel d'apports solides et emprise disponible) sous forme d'histogrammes.

(Figure 22).

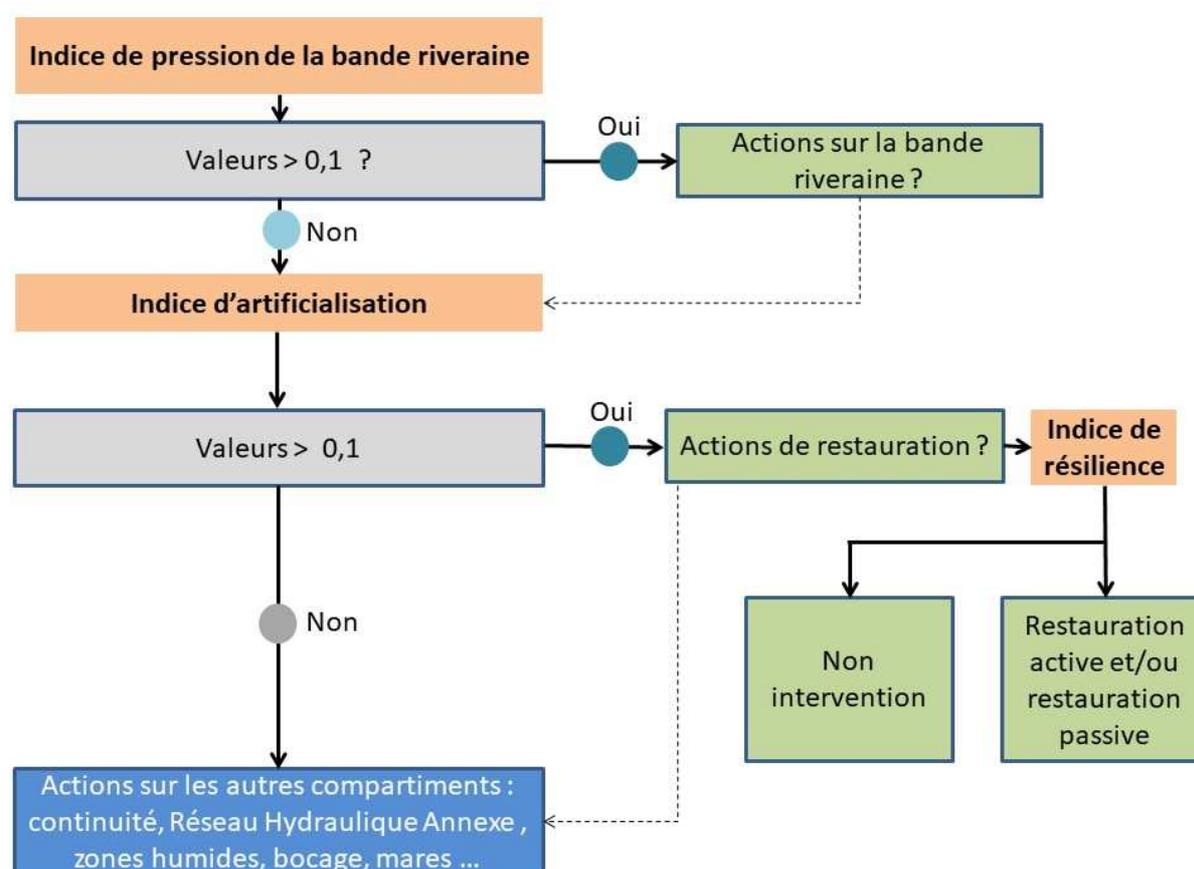


Figure 22 : Logigramme accompagnant l'utilisation des trois indices complémentaires

👉 Nous attirons l'attention de l'utilisateur sur le fait que les indicateurs constituent des outils d'aide à la décision mais doivent faire leur utilisation doit faire l'objet d'un regard critique. Par exemple, la non intervention peut être retenue sur un segment qualité de semi-artificiel par l'indice d'artificialisation du lit mineur, au regard de l'état actuel du cours d'eau et du niveau d'ambition du projet de restauration.

8. Indice sur les obstacles à l'écoulement

La densité d'obstacles observée en tête de bassin versant peut-être très importante induisant une fragmentation des cours d'eau vis-à-vis de la continuité écologique.

Sur les sous-bassins versants présentant de très nombreux tronçons, il est préconisé d'utiliser des indices à **l'échelle des tronçons** pour améliorer la visualisation des impacts des obstacles à l'écoulement sur la continuité écologique (AELB, 2016) :

- densité des ouvrages (nombre d'obstacles par km)
- taux de fractionnement : rapport entre la somme des hauteurs de chute artificielle et le linéaire de cours d'eau (dénivelé artificiel / longueur)



Le taux d'étagement n'est pas adapté à l'étude des cours d'eau en tête de bassin versant.

Pour aller plus loin sur l'exploitation des données collectées sur le terrain, il est possible d'appliquer pour la majorité des ouvrages les arbres décisionnels du protocole Informations sur le Continuité Ecologique (ICE) (Baudoin *et al.*, 2014). Les notes doivent être produites pour les espèces présentes en tête de bassin versant par ouvrage. L'identification des espèces piscicoles présentes à l'échelle du sous-bassin étudié nécessite un travail de compilation des données disponibles (stations de suivis piscicoles, données du Réseau Hydrobiologique Théorique, connaissances locales).

Cette évaluation est simplifiée par rapport à des cours d'eau plus grands pour 3 raisons :

- peu de types d'ouvrages différents (essentiellement des buses, des petits seuils et des plans d'eau en barrage) pouvant être évalués à partir de 2 arbres de décision (obstacle vertical ou quasi-vertical et passage busé),
- une seule tranche d'évaluation dans la majorité des cas,
- peu d'espèces de poissons en tête de bassin.

9. Evaluation de la densité en RHA

Afin de mieux visualiser le nombre de points de contact avec le Réseau Hydraulique Annexe (RHA) sur le territoire étudié, il est conseillé de calculer la densité de RHA à l'échelle des tronçons.

F. Préconisations de restauration

Les résultats de l'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau permettent de fournir des préconisations spécifiques au lit mineur, à la bande riveraine, aux obstacles à l'écoulement et au réseau hydraulique annexe.

1. Le lit mineur

Les ajustements morphologiques sur les cours d'eau en tête de bassin versant peuvent être très longs, notamment en raison des puissances spécifiques généralement faibles (pente et débit faibles). Ainsi, il est pertinent d'avoir un effort de restauration plus conséquent sur ces cours d'eau (Malavoi *et al.*, 2007). Se rapprocher des conditions morphologiques de référence est une des meilleures solutions pour obtenir des restaurations efficaces et pérennes en tête de bassin versant.

Il est nécessaire de définir des objectifs de restauration clairement identifiés (Muotka, 2002) afin de :

- choisir la ou les techniques les plus adaptées,
- améliorer la qualité du suivi (Hubert *et al.*, 2019).

Un diagnostic suffisamment précis couplé à l'identification d'objectifs clairs à l'échelle des segments est la clé pour retenir des solutions de restauration pertinentes.

Par rapport aux résultats du diagnostic, il existe différents niveaux d'intervention (Figure 23) :

- ✓ **Préserver ou "ne pas intervenir"**
 - si le fonctionnement hydromorphologique est bon
- ✓ **Limiter les dysfonctionnements et les dégradations futures**
 - si le fonctionnement hydromorphologique s'avère peu dégradé et qu'il présente encore des fonctionnalités correctes
- ✓ **Restaurer**
 - **Restauration passive** : il s'agit de lever les contraintes (ex : retrait des protections de berges, suppression de seuils) - valable pour les cours d'eau puissants et avec des apports solides (AESN, 2007).
 - **Restauration active** : l'intervention est nécessaire

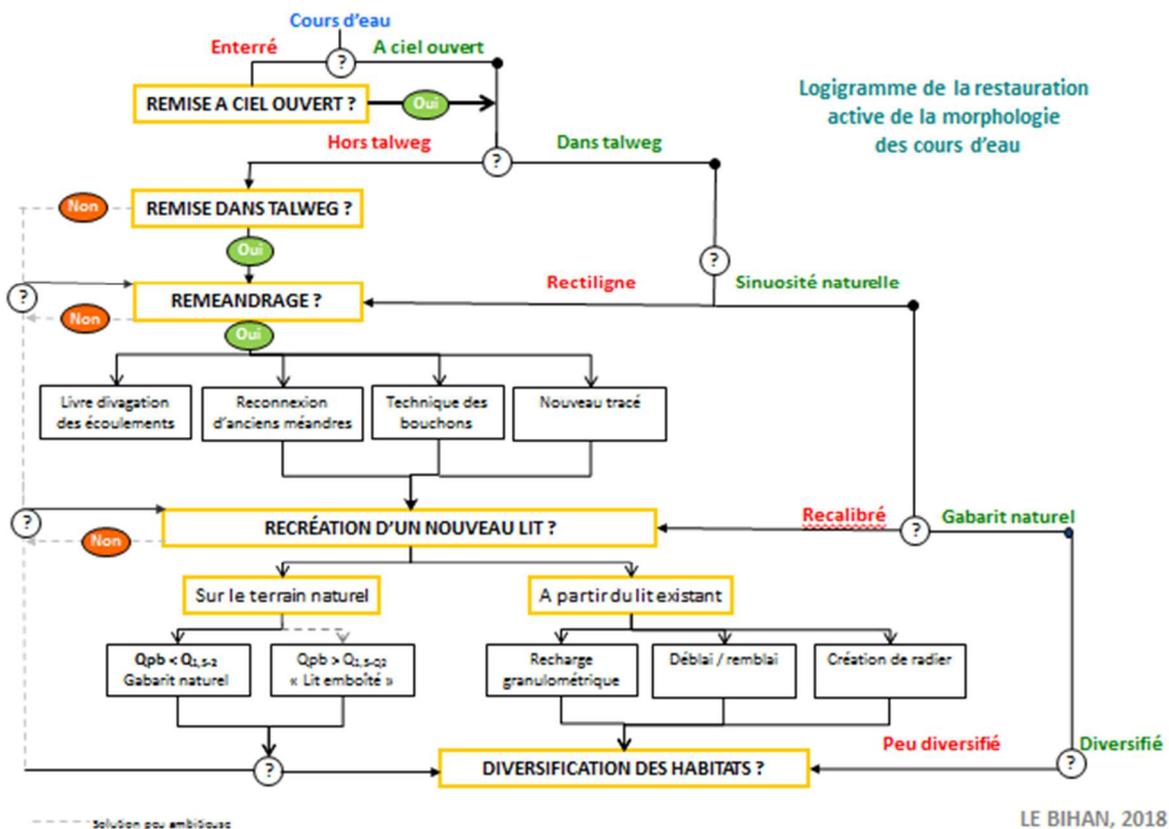


Figure 23 : Logigramme des méthodes de restauration active de la morphologie des lits mineurs

Il est important de veiller à établir des préconisations techniques adaptées et permettant **d'utiliser la palette des outils à disposition** pour la restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau (Galmiche N., 2017 ; Fournials, 2018).

En se rapprochant des zones de sources, il est essentiel de s'interroger sur la typologie du fond de vallée (source ponctuelle, zone humide, chenal de transition ou cours d'eau). Au niveau des zones de sources, il est essentiel de mobiliser des techniques de restauration spécifiques aux rangs 0 (Benda *et al.*, 2005 ; Galineau, 2020 ; Yvin, 2023 en cours).

Les choix techniques devront être adaptés aux segments en veillant à la cohérence des solutions retenues entre les différents segments. Il est important de sensibiliser les riverains à la restauration des cours d'eau en amont des travaux (Bouni, 2013 ; Riviere-honegger *et al.*, 2014).

2. La bande riveraine

L'indice de pression de la bande riveraine à l'échelle des segments et des tronçons doit permettre d'identifier des préconisations techniques adaptées en termes d'entretien, de préservation et de restauration éventuelle (CSPNB, 2008 ; CATER Calvados Orne Manche, 2020 ; Chauvigne & Lemoine, 2019).

Ces interventions devront être menées en cohérence avec celles engagées sur le linéaire de cours d'eau afin d'optimiser les bénéfices environnementaux des opérations de restaurations.

Il est important des sensibiliser les riverains sur les services souvent méconnus rendus par cette bande riveraine. En effet, plus la bande riveraine est de qualité (naturelle, boisée, épaisse) et plus les services seront importants (Figure 24).

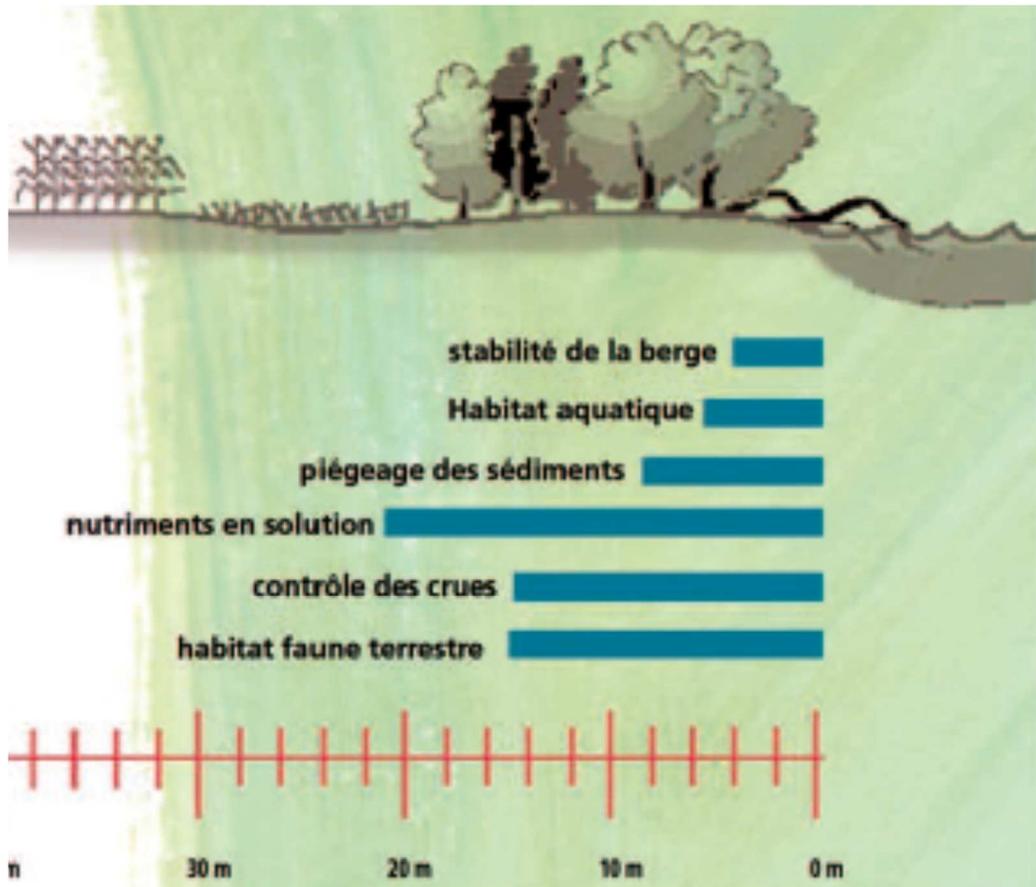


Figure 24 : Largeurs minimales recommandées pour l'optimisation des principales fonctions des corridors rivulaires (in CSPNB, 2008)

3. Les obstacles anthropiques transversaux à l'écoulement

En fonction des espèces piscicoles présentes sur le linéaire étudié, le diagnostic des ouvrages doit permettre d'identifier :

- **les ouvrages bien dimensionnés et bien calés en altitude**, ne présentant pas d'obstacle à la continuité écologique sur lesquels la non intervention est préconisée,
- **les ouvrages présentant une légère chute à l'aval à aménager** (ex : rampe à l'aval) afin de rétablir la continuité écologique (LIFE, 2009),
- **les ouvrages présentant des conditions d'écoulement** (tirant d'eau et vitesse) **difficilement compatibles avec la nage des poissons** et nécessitant la mise en œuvre d'aménagement au sein des ouvrages (exemple : déflecteurs, plots...) (SETRA & ONEMA, 2010)
- **les ouvrages mal dimensionnés et/ou mal calés en altitude** générant des obstacles à la continuité écologique et/ou des désordres hydromorphologiques et/ou des débordements importants. Pour ces ouvrages, il est conseillé de les supprimer ou de les remplacer (si un usage avéré est présent).

Concernant les plans d'eau, ils existent différentes solutions pour réduire leurs impacts :

- la suppression des plans d'eau (Jeanneau & Le Bihan, 2018)
- la création de bras de contournement
- l'aménagement d'un moine hydraulique (Galmiche N., 2017)

Le document de Le Potier en 2015 fournit un descriptif de l'ensemble des ouvrages de franchissement retrouvés sur les cours d'eau en tête de bassin versant.

4. Le Réseau Hydraulique Annexe

Sur certains territoires, la densité très importante de points de contact entre les cours d'eau et le réseau hydraulique annexe nécessite de hiérarchiser leurs impacts potentiels (en fonction des traces de pollutions et/ou des altérations hydromorphologiques constatées sur le cours d'eau) pour cibler les priorités d'intervention.

Trois niveaux d'intervention existent et sont à adapter en fonction de l'occupation des sols et des usages :

- suppression partielle ou totale du RHA et restauration de zones humides (LIFE, 2009 ; CG 29, 2012 ; Rondel C., 2019)

- déconnexion du RHA par la création de Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA) (Tournebize *et al.*, 2015). Ces ZTHA ne doivent pas être réalisées sur des zones humides, en effet, il est préférable de restaurer l'ensemble des fonctionnalités des zones humides quand cela est possible.

- préconisation sur les modalités d'entretien des fossés (fréquence d'entretien, entretien ciblé, maintien de l'enherbement latéral, ...) avec sensibilisation de l'intérêt de techniques alternatives à la technique dite « traditionnelle » (exemple : technique du « tiers inférieur », déconnexion de fossés, arrêt de curage, ...) (Morin & Bizet, 2022). La technique du tiers inférieur (cf. figure 20) est présentée dans le guide intitulé « Bonnes pratiques environnementales - Protection des milieux aquatiques en phase chantier », au sein de la Fiche « Gérer n°2 » page 81 à 83 (Mc Donald D. *et al.*, 2018).

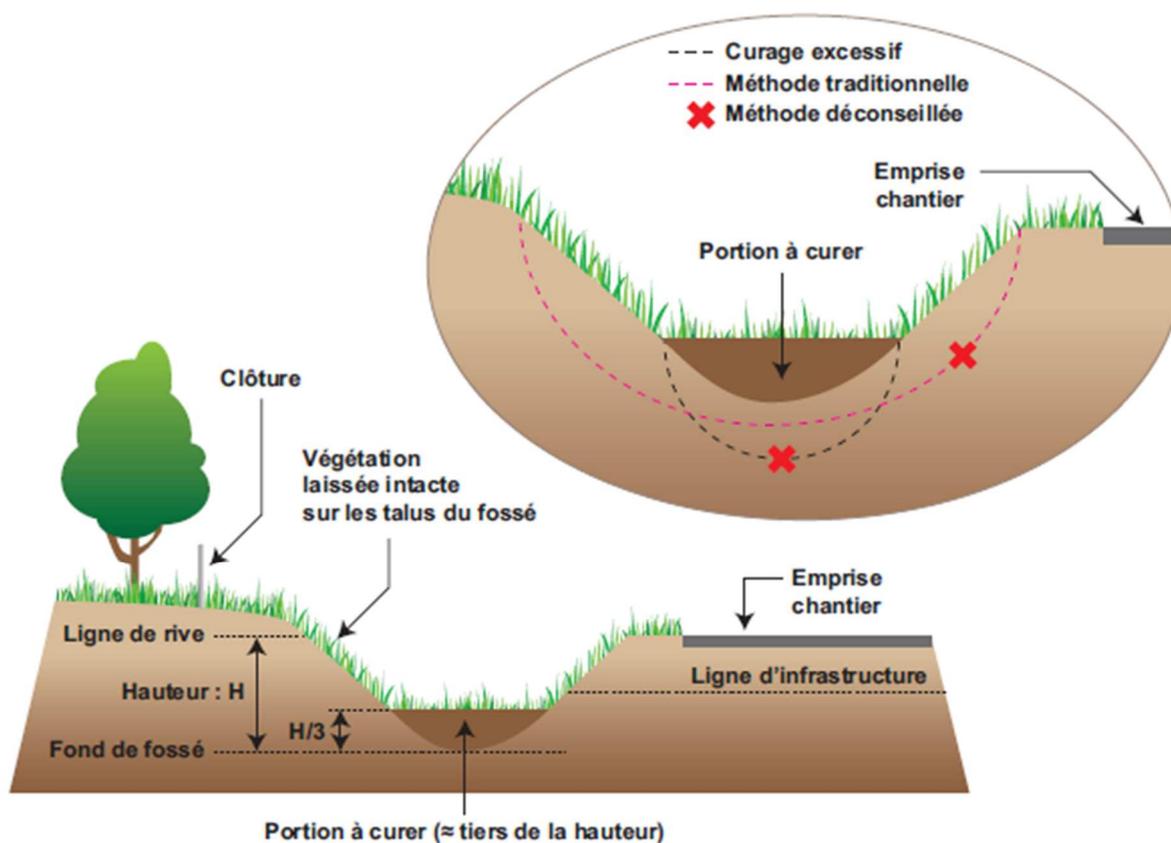


Figure 25 : Modalités d'entretien des fossés par la technique du tiers inférieur : schéma de principe et ordre de grandeur (Guay *et al.*, 2012 ; in Mac Donald *et al.*, 2018)

5. Les rangs 0

Les modalités techniques de restauration des « rangs 0 » sont actuellement très peu documentées (Galineau, 2020). Au vu de ce constat, il convient pour tout projet de restauration de « rangs 0 » de renseigner les conditions avant altération et de définir l'itinéraire technique permettant, quand cela est possible, de reconstituer les conditions proches de l'état naturel (Yven, 2023, en cours de finalisation).

Les méthodes de restauration à proposer sont les suivantes et doivent s'appuyer sur les références documentaires à disposition :

- suppression de remblais (Fiche du FMA, en cours de finalisation)
- dédrainage (LIFE, 2009 ; CG 29, 2012 ; Rondel C., 2019)
- suppression de plan d'eau sur source (Jeanneau & Le Bihan, 2018)
- mise en place de zones tampons pour préserver les zones de sources (bandes enherbées ou boisées, talweg enherbé, ...) (Catalogne & Le Hénaff, 2016)

Synthèse bibliographique

AESN, 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau, AESN/BIOTECH, 64 pages. Disponible sur https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/documents/pdf/01Manuel_restoration.pdf.

ALEXANDER R.B., BOYER E.W., SMITH R.A., SCHWARZ G.E. & MOORE R.B., 2007. The role of headwater streams in downstream water quality. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **43** (1), 41-59.

ARCHAMBAUD *et al.*, 2005. Protocole de description du colmatage superficiel, 2 pages.

BARRY & LE BIHAN, 2012. Analyse technique des photographies aériennes, un appui technique à la définition des cours d'eau. Note de la Direction Bretagne, Pays de la Loire de l'ONEMA, 3 pages.

BAUDOIN J.M., BURGUN V., CHANSEAU M., LARINIER M., OVIDIO M., SREMSKI W., STEINBACH P. & VOEGTLE B., 2014. Informations sur la continuité écologique, Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons, Principes et méthodes. Guide ONEMA, Collection "Comprendre pour agir", 200 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/387>.

BAUDOIN J.M., 2007. Biodiversité et fonctionnement de cours d'eau forestiers de tête de bassin : Effet de l'acidification anthropique et d'une restauration, Thèse Discipline Ecologie, Spécialité Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, Université Paul Verlaine de Metz, 221 pages.

BAUDOIN J.M., BOUTET-BERRY L., CAGNANT M., GOB F., KREUTZENBERGER K., LAMAND F., MALAVOI J.R, MARMONIER P., PENIL C., RIVIERE C., SADOT M., TAMISIER V. & TUAL M., 2017. Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied. Agence Française pour la Biodiversité. Collection guides et protocoles. 56 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/386>.

BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M. & MAY C.-L, 2005. Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **41** (4), 835-851.

BOSSIS M., 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, 19 pages + Annexes. Disponible sur : http://oai.afbiodiversite.fr/cindocoai/download/PUBLI/908/1/2014_061.pdf_4350Ko.

BOUAS G., 2016. Etude de la Biodiversité (macro-invertébré et ichtyofaune) des cours d'eau en tête de bassin versant. Rapport de stage M2, IMACOF / ONEMA, 40 pages. Disponible sur : <https://bretagne-environnement.fr/etude-biodiveriste-macro-invertebres-ichtyofaune-cours-eau-tete-bassin-versant>.

BOUNI C. 2014. Comment développer un projet ambitieux de restauration d'un cours d'eau ? Retours d'expériences en Europe, un point de vue des sciences humaines et sociales. Onema. 28 pages. Disponible sur : [Comment développer un projet ambitieux de restauration d'un cours](#)

d'eau ? Retours d'expériences en Europe, un point de vue des sciences humaines et sociales | Le portail technique de l'OFB.

CATALOGNE C. & LE HENAFF G., 2016. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. Collection Guide et protocole. Rapport IRSTEA/ONEMA élaboré dans le cadre du Groupe Technique Zones Tampons. 44 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/guide-daide-implantation-zones-tampons-lattenuation-transferts-contaminants>.

CATER CALVADOS ORNE MANCHE, 2020. La Restauration du Bocage, concevoir et mettre en œuvre un programme d'actions en faveur des milieux aquatiques. Guide. 124 pages. Disponible sur : <https://www.cater-com.fr/fichiers/mediatheque/documents/fichesguidebocage/Debut-livret.pdf>.

CETE & ONEMA, 2013. Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques, Cas de la faune piscicole. Note d'information SETRA, 25 pages. Disponible sur : [1338w-ni_faune_piscicole.pdf](https://www.trameverteetbleue.fr/1338w-ni_faune_piscicole.pdf) (trameverteetbleue.fr).

CG29, 2012. Guide technique d'aménagement et de gestion des zones humides du Finistère. 249 pages. Disponible sur : http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/GTAGZH_Complet_032012.pdf.

CHAUVIGNE & LEMOINE, 2019. Biodiversité & chantiers. Comment concilier nature et chantiers urbains ? 80 pages. Disponible sur <https://www.genieecologique.fr/referencibiblio/guide-biodiversite-chantiers-comment-concilier-nature-et-chantiers-urbains>.

COLIN M., 2015. Etude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant, Evaluation de l'impact des travaux de chenalisation. Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 57 pages. Disponible sur : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/0000000015dd1f51171c41464deab29>.

CORPEN, 2008. Les zones tampons, un moyen de préserver les milieux aquatiques. 20 pages. Disponible sur http://omer.cemagref.fr/methodes/etape-1-identification-des-elements-de-contexte/les-solutions-possibles/zones-tampons/ZTCorpen_plaquette.pdf.

COWAN W.L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, 37, 7.

CSPNB, 2008. L'arbre, la rivière et l'homme, MEDAD/D4E, 64 pages. Disponible sur : https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/arbre_riviere_homme.pdf.

DEBOISE A., 2014. Dégradations des cours d'eau de tête de bassin versant : essai d'un protocole de diagnostic sur trois bassins versants (Kerdu, Quinquis et Coat Trédrez) Comparaison des outils de diagnostic hydromorphologique en Europe, Rapport de stage de Master 2, Comité des bassins versants de la Lieue de Grève / Ecole Polytechnique de l'Université François Rabelais de Tours, 52 pages.

ENVIRONMENT AGENCY, 2003. River Habitat Survey in Britain and Ireland, Field Survey Guidance Manual : Bristol.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009. Stream corridor structure.

FMA, 2020. Les têtes de bassin versant, des zones essentielles pour la gestion des milieux aquatiques et la biodiversité. 12 pages. Disponible sur : <https://bretagne-environnement.fr/les-tetes-de-bassin-versant-des-zones-essentielles-pour-la-gestion-des-milieux-aquatiques-et-de-la-biodiversite>.

FOURNIALS, 2018. La recharge en granulats, une technique souple et rapide pour la restauration des petits cours d'eau. Guide de la CATER Calvados-Orne-Manche, 16 pages. Disponible sur : <https://www.cater-com.fr/mediatheque/documents/la-recreation-de-cours-deau.html>.

FOURNIALS, 2018. La récréation de cours d'eau, du retour au fond de vallée au reméandrage. Guide de la CATER Calvados-Orne-Manche, 32 pages. Disponible sur : <https://www.cater-com.fr/mediatheque/documents/la-recreation-de-cours-deau.html>.

FRITZ K.M., JOHNSON B.R., WALTERS D. M., 2006. Field operations manual for assessing the hydrologic permanence and ecological conditions of headwater streams. U.S. EPA, 130 pages.

GALINEAU M., 2020. Etude exploratoire des rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire. Rapport de stage de Master 2, Direction Bretagne de l'Office Français de la Biodiversité / Université de Rennes 1. 32 pages.

GALMICHE N. COORD., 2017. Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux et de la continuité écologique. PNRM / PNRBV / ONF / ADAPEMONT / PNRHJ. LIFE10 NAT/FR/192. 116 pages. Disponible sur : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/0000000001754a7597757e12764457e3>.

GAYET, G., BAPTIST, F., BARAILLE, L., CAESSTEKER, P., CLEMENT, J.-C., GAILLARD J., GAUCHERAND, S., ISSELIN-NONDEDEU, F., POINSOT C., QUETIER, F., TOUROULT, J., BARNAUD, G., 2016. Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques. Onema, MNHN, p. 310. Rapport SPN 2016 – 91. Disponible sur : <http://www.zones-humides.org/guide-de-la-m%C3%A9thode-nationale-d%C3%A9valuation-des-fonctions-des-zones-humides>.

GOMI T., SIDLE R.C. & RICHARDSON J.S., 2002. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. Bioscience, **52** (10), 905-916.

GORON, 2012. Enterrement des cours d'eau en tête de bassin : Quelles voies réglementaires pour arriver à la remise à ciel ouvert et comment anticiper le risque d'enterrement. Rapport de stage, ONEMA/Université Paul Verlaine de Metz, 85 pages.

GUILLERME, 2015. Caractérisation de la pression « enterrement des cours d'eau » sur le territoire Bretagne - Pays de la Loire. Rapport de stage M2, ONEMA Dir2 / Université de Rennes 1, 31 pages. Disponible sur : <https://bretagne-environnement.fr/sites/all/libraries/pdf.js/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fbretagne-environnement.fr%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdocumentation%2Fbiblio%2FGuillerm>

[2015_caracterisation_de_la_pression_enterrrement_des_cours_d_eau_sur_ale_territoire_br_etagne_pdl.pdf](#)

HAYOT, 2011. Sur quels critères entreprendre la reconstitution de ripisylves diversifiées (en âge et en structure) et fonctionnelles sur le long terme ? ONEMA/AERM/Agro Paris Tech, 63 pages.

HUBERT A., LE BIHAN M., GRIMAUULT L., PECHEUX N., MAY C., SEGUY P. & MEVEL A., 2019 (Version 1 au 1/01/2019). Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques. Guide de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire. 47 pages. Disponible sur : <https://www.creseb.fr/aide-elaboration-programme-pour-suivi-travaux-restauration-cours-eau/>.

JAN, 2012. Proposition d'une méthodologie de priorisation des cours d'eau de têtes de bassin versant selon l'enjeu « morphologie ». Rapport M2, *SAGE Couesnon/Université de Rennes 1*, 54 pages.

JAN, 2013. Etude du fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau en tête de bassin versant sur le Massif Armoricaïn. Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 40 pages. Disponible sur : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/0000000015dd1b9ebc000e14c40e280>.

JEANNEAU & LE BIHAN, 2018. Retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plans d'eau à l'échelle du territoire Bretagne, Pays de la Loire. Rapport de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire, 32 pages. Disponible sur : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/00000000166a5167ec615e8271e0f21>

LCHAT, 2008. Revitalisation des cours d'eau, A l'exemple de la Birse et ses affluents, *GWA*, 3, 199-205.

LE BIHAN M., 2009. L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57). Rapport de stage, ONEMA/Université Paul Verlaine Metz, 49 pages. Disponible sur : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/0000000015dd1ba10e040db5c69883a>.

LE BIHAN M., 2010. Méthode de pré-identification cartographique des cours d'eau enterrés en tête de bassin. Délégation interrégionale du Nord-Est de l'ONEMA, 5 pages.

LE BIHAN, 2012. Réunion d'information, Têtes de bassin versant, Connaissances, outils, méthodes et perspectives. Support de présentation. Office National sur l'Eau et les Milieux Aquatiques, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire. 195 pages.

LE BIHAN M., 2014. Quel espace dédié aux cours d'eau ? Note de la direction Bretagne, Pays de la Loire de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire. 5 pages.

LE BIHAN M., MAGUEUR A., AUGIER A., PECHEUX N., MEVEL A., LE ROY S., TOREAU V., THERIN E., CORRE L., COUDART A., RENOUE S., RIVIERE A. & NIVOY B., 2020. Retours d'expériences techniques, Chapitre 11 - Tête de bassin versant. Note technique partenariale, VF. 20 pages.

LE BIHAN, 2022. Recommandations pour la restauration hydromorphologique des cours d'eau intermittents ou à faible débit d'étiage. Note Technique. Office Français de la Biodiversité, Direction Régionale Bretagne. 18 pages.

LECERF, 2005. Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau en tête de bassin versant, Thèse Discipline Ecologie fonctionnelle, Université Toulouse III – Paul Sabatier, UFR Sciences et vie de la terre, 159 pages.

LE POTIER, 2015. Synthèse des connaissances sur les ouvrages de franchissement des petits cours d'eau. Note ONEMA, Tableau et annexes.

MACDONALD L.H. & COE D., 2007. Influence of headwater streams on downstream reaches in forested areas. *Forest Science*, **53** (2), 148-168.

MALAVOI J.R. & BRAVARD J.P., 2010. Eléments d'hydromorphologie fluviale, ONEMA, 224 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/elements-dhydromorphologie-fluviale>.

MALAVOI & SOUCHON, 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **365/366** : 357-372.

MALAVOI, 2011. Formation ONEMA sur l'hydromorphologie des cours d'eau, Supports de présentation, 1014 pages.

MATHIEU, 2010. Quels pré-requis pour la restauration des cours d'eau enterrés en tête de bassin ? Rapport de stage, ONEMA/Université de Rennes 1, 36 pages. Disponible sur : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/quels-pre-requis-pour-la-restauration-des-cours-d-eau-enterres-en-tete-de-bassin0>.

MC DONALD D., DE BILLY V. & GEORGES N., 2018. Bonnes pratiques environnementales. Cas de la protection des milieux aquatiques en phase chantier : anticipation des risques, gestion des sédiments et autres sources potentielles de pollutions des eaux. Collection Guides et protocoles. Agence française de la biodiversité. 148 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/bonnes-pratiques-environnementales-protection-milieux-aquatiques-en-phase>.

MEYER J.L. & WALLACE J.B., 2001. Lost Linkages and Lotic Ecology : Rediscovering Small Streams. *Ecology : Achievement and Challenge*, 295-317.

MEYER, J. L., L. A. KAPLAN, J. D. NEWBOLD, D. L. STRAYER, C. J. WOLTEMADE, J. B. ZEDLER, R. BEILFUSS, Q. CARPENTER, R. SEMLITSCH, M.C. WATZIN, AND P. H. ZEDLER, 2003. Where rivers are born : The scientific imperative for defending small streams and wetlands. Sierra Club and American Rivers.

MONDESIR L., 2017. Synthèse des connaissances et validation de protocoles pour l'hydromorphologie et la biologie des cours d'eau en tête de bassin versant (Rang de Strahler 1). Rapport de stage, AFB / Université de Rennes 1, 34 pages. Disponible sur : <https://halieutique.institut-agro-rennes-angers.fr/files/fichiers/memoires/201720.pdf>

MORIN F. & BIZET V., 2022. Entretien des fossés et des bas-côtés routiers, Guide technique départemental. Conseil Départemental des Côtes-d'Armor. 48 pages.

MOULIN B., 2005. Variabilité spatiale et temporelle du bois mort dans le réseau hydrographique de l'Isère à l'amont de Grenoble. Thèse, Université Jean Monnet de Saint-Étienne, 448 pages.

MUOTKA T. & LAASONEN P., 2002. Ecosystem recovery in restored headwater streams : the role of enhanced leaf retention. *Journal of Applied Ecology*, **39**, 145-156.

NGUYEN VAN, 2012. Les altérations physiques en têtes de bassin versant sur les régions Bretagne-Pays de la Loire. Rapport de stage, *ONEMA/Université Paris Diderot*, 86 pages. Disponible sur : [Les altérations physiques en têtes de bassin versant sur les régions Bretagne-Pays de la Loire. A la recherche d' aqua incognita | Observatoire de l'environnement en Bretagne \(bretagne-environnement.fr\).](https://www.bretagne-environnement.fr/les-alt%C3%A9rations-physiques-en-t%C3%AAtes-de-bassin-versant-sur-les-r%C3%A9gions-bretagne-pays-de-la-loire-a-la-recherche-d-aqua-incognita)

NICOLAS V., ORAISON F., SOUCHON Y. ET VAN LOOY K., 2012. Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? Onema, 8 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/restaurer-lhydromorphologie-cours-deau-mieux-maitriser-nutriments-voie-commune>.

OFEG, 2001. Protection contre les crues des cours d'eau. Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG). 73 pages.

ONEMA, 2015. Les zones non traitées par les produits phytopharmaceutiques au voisinage des points d'eau - Le rôle des inspecteurs de l'environnement. 6 pages. Disponible sur : https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/phytoznt_plaq_maq_v9mdss.pdf.

ORAISON F., SOUCHON Y., LOOY K.V., 2011. Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? Synthèse bibliographique, ONEMA/CEMAGREF. 34 pages. Disponible sur : <https://hal.inrae.fr/hal-02596137>.

PETERSON B.J., WOLLHEIM W.M., MULHOLLAND P.J., WEBSTER J.R., MEYER J.L., TANK J.L., MARTH E., BOWDEN W.B., VALETTE H.M., HERSHEY A.E., MCDOWELL W.H., DODDS W.K., HAMILTON S.K., GREGORY S. & MORALL D.D., 2001. Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams. *Science*, 292 (5514), 86-90.

RICHARDSON, 2019. Biological diversity in headwaters streams. *Water*, **11**, 366.

RIVIERE-HONEGGER A., COTTET M. ET MORANDI B. (COORDS.), 2014. Connaître les perceptions et les représentations : quels apports pour la gestion des milieux aquatiques ? Paris, Onema, coll. « Comprendre pour agir », 180 p.

RONDEL C., 2019. Création de bouchons sur des fossés. Fiche technique. Agence Française pour la Biodiversité, Direction Bretagne, Pays-de-le-Loire. 4 pages. Disponible sur : http://atbv.fr/sites/default/files/media/fiche_bouchons__2.pdf.

SAGE COUESNON, 2012. Cartographie Têtes de bassin versant.

SCHUMM S.A., 1956 (in Benda et al., 2005). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, **67**, 597-646.

SHREVE R.W., 1969 (in Benda et al., 2005). Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks. *Journal of Geology*, **77**, 397-414.

SIMON A., OUTLAW G.S. & THOMAS R., 1989. Evaluation, Modeling, and Mapping of Potential Bridge Scour, West Tennessee. In; Proceedings of the National Bridge Scour Symposium, Report FHWA-RD-90-035, Federal Highway Administration, McLean, Virginia, p. 112-129.

SPITONI, 2012. Caractérisation géospatiale des pressions anthropiques physiques qui s'exercent sur les cours d'eau de tête de bassin versant, Rapport de stage, ONEMA/Université de Lorraine (LIEBE), 32 pages.

VALSANGIACOMO, 2017. Mise en place d'une base de données sur les caractéristiques hydromorphologiques de cours d'eau en tête de bassin versant. Rapport de stage. AFB / Université Paris 1. 28 pages.

VIDAL, 2005. Assistance au calage de modèles numériques en hydraulique fluviale, apports de l'intelligence artificielle, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 310 pages.

WASSON J.G., MALAVOI J.R., MARIDET L., SOUCHON Y. & PAULIN L., 1998. Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Editions Cemagref, **14**, 158 pages. Disponible sur : <https://hal.inrae.fr/hal-02574026/document>.

WASSON et al., 2002. Définition des hydro-écorégions françaises métropolitaines. Rapport Cemagref Lyon BEA/LHQ et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 190p.

ANNEXE A : Cartographie des cours d'eau au titre de la police de l'eau

Objectif : Identifier avec la plus forte exhaustivité possible le linéaire de cours d'eau sur le territoire étudié et définir le statut des différents éléments du réseau hydrographique (cours d'eau, fossé).

La méthode utilisée est décrite ci-dessous :

✓ **Création d'un réseau théorique**

En l'absence d'une cartographie exhaustive des cours d'eau police de l'eau¹⁴, la première étape consiste à créer un réseau de référence théorique de cours d'eau en couplant :

- les linéaires identifiés sur les cartographies de l'Institut Géographique National (IGN) au 1 : 25.000 de 2012 et sur la Base de Données Topographiques (BD TOPO)
- les linéaires identifiés sur les référentiels cartographiques historiques (carte IGN au 1:25.000 des années 1950, cartes d'état-major au 1 : 40.000...) (cf. Barry et Le Bihan, 2012)
- les linéaires identifiés par analyse des photographies aériennes des années 1950 (cf. Le Bihan, 2012 ; Nguyen Van, 2012 ; Guillerme, 2015)
- les linéaires théoriques issus de la classification de Woods et l'indice de Beven et Kirkby (cf. Nguyen Van, 2012)

Ce réseau théorique ainsi constitué sert de base à la caractérisation du linéaire du réseau hydrographique sur le terrain.

✓ **Qualification du linéaire du réseau hydrographique**

La phase terrain doit être réalisée durant une période hydrologique :

- favorable à la détection des cours d'eau intermittents (généralement d'octobre à avril, période à adapter en cas de déficit pluviométrique important),
- déconnectée des précipitations (5 jours sans pluies supérieures à 10 mm par jour sur la zone d'étude)

L'ensemble du réseau hydrographique est prospecté et chaque tronçon est doté d'un statut (cf. article L.215-7-1 du CE¹⁵ et instruction 3 juin 2015 relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et leur entretien) : **talweg marqué, cours d'eau** (permanent et intermittent), **cours d'eau enterré, fossé, drainage souterrain**.

La restitution de ce premier travail s'effectue sous SIG.

¹⁴ Les cartographies de cours d'eau sont rarement exhaustives, par conséquent il est nécessaire dans le cadre de l'application de cette méthode de diagnostic de préciser les modalités de prise en compte de ces cours d'eau « oubliés ».

¹⁵ **Art. L. 215-7-1 du CE** : Constitue un cours d'eau un écoulement d'eaux courantes dans un **lit naturel à l'origine**, alimenté par **une source** et présentant un **débit suffisant la majeure partie de l'année**. **L'écoulement peut ne pas être permanent** compte tenu des conditions hydrologiques et géologiques locales.

ANNEXE B : Méthode de caractérisation des conditions d'écoulement des cours d'eau

Cette méthode a pour objectif de caractériser rapidement les conditions d'écoulements au sein des cours d'eau en tête de bassin versant. Les conditions sont déterminées par une évaluation visuelle du niveau des eaux de surface et des vitesses d'écoulement au sein du cours d'eau.

Les conditions d'écoulements varient dans le temps (saison, précipitation/évapotranspiration) et dans l'espace (en fonction de l'éloignement des zones de sources, de l'occupation des sols, des capacités de stockage des eaux souterraines, etc.). Ce niveau de connexion ou de fragmentation des écoulements est fondamental et contrôle la structure et les fonctions des cours d'eau en tête de bassin versant. En effet, il affecte les propriétés physico-chimiques, les capacités de déplacements biologiques et les disponibilités en zones refuges (Boulton & Lake 1990 ; Dietrich & Anderson 1998 ; Maltchik *et al.*, 1994).

Cinq conditions d'écoulement (observées sur les cours d'eau en tête de bassin versant) sont décrites. Chaque condition est décrite dans les pages suivantes par un schéma représentant une coupe longitudinale d'un cours d'eau, une photo et un texte explicatif. Le bleu indique la surface en eau, les flèches indiquent la présence et la direction de l'écoulement.

✓ Dans le cas de la caractérisation du régime d'écoulement d'un cours d'eau :

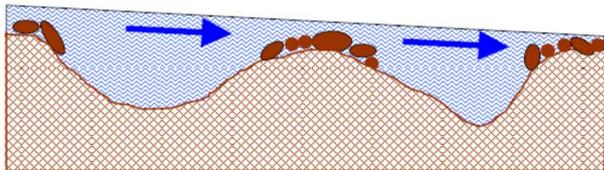
A minima, la caractérisation des écoulements doit être réalisée une fois en période sèche et une fois en période humide. La caractérisation du cours d'eau peut être basée sur la condition d'écoulement prédominante sur le site d'étude. Ceci constitue une méthode simple pour identifier les types de régimes d'écoulement (permanent, intermittent, éphémère).

✓ Dans le cas d'un suivi de l'intermittence d'un cours d'eau donné suite à une restauration ou une altération :

- A minima, il est pertinent de suivre une année hydrologique complète pour réaliser l'état initial. Pour exploiter les données, il est essentiel d'obtenir les données relatives à la pluviométrie par jour (en mm) (issues d'une station pluviométrique à proximité immédiate du site d'étude).
- Il est nécessaire de faire un suivi régulier (une fois par semaine ou à minima toutes les 2 semaines pendant la période critique pour les écoulements (à définir pour le site étudié). Pour faciliter l'acquisition de la donnée sur le terrain, il est conseillé de réaliser une intercalibration entre les différents opérateurs en charge des relevés.
- Afin d'aboutir à une évaluation rapide, précise et facile à exploiter, il convient de poser des repères fixes en berges (géoréférencés et numérotés).

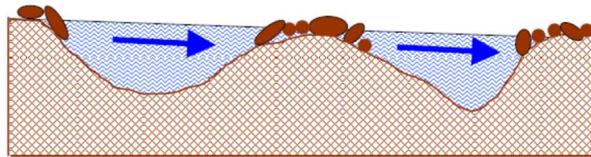
A – Ecoulement visible et continu

On observe la présence d'un écoulement qui est ininterrompu entre les différents faciès. La plupart de la granulométrie au sein du chenal est submergée par l'eau.



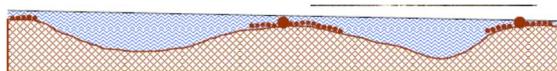
B – Ecoulement visible interstitiel

L'eau de surface est interrompue entre les faciès d'écoulement ; à tel point que la majorité de la granulométrie des radiers est non submergée. Cependant, un écoulement interstitiel connectant les faciès d'écoulement est évident.



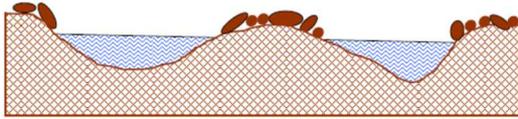
C – Surface en eau présente mais absence d'écoulements

La surface en eau est ininterrompue entre les faciès d'écoulements, cependant il n'y a pas d'écoulement visible. L'eau restant dans les mouilles s'apparente à de l'eau stagnante. Cette condition survient plus souvent dans les cours d'eau à faible pente que dans les cours d'eau à forte pente.



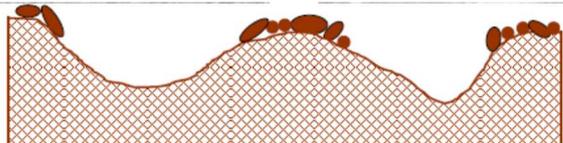
D – Surface en eau présente dans les mouilles seulement

L'eau de surface est uniquement présente dans les mouilles et il n'y a pas d'eau visible ni d'écoulements entre les mouilles. Les sédiments du lit entre les mouilles peuvent être humides.



E – Pas d'eau visible

L'eau est absente du lit du cours d'eau.



ANNEXE C : Classe d'Evolution Morphodynamique

CEM 1 : absence d'altération



CEM 2 : chenalisé



CEM3 : incisé



CEM 4 : incisé et élargi

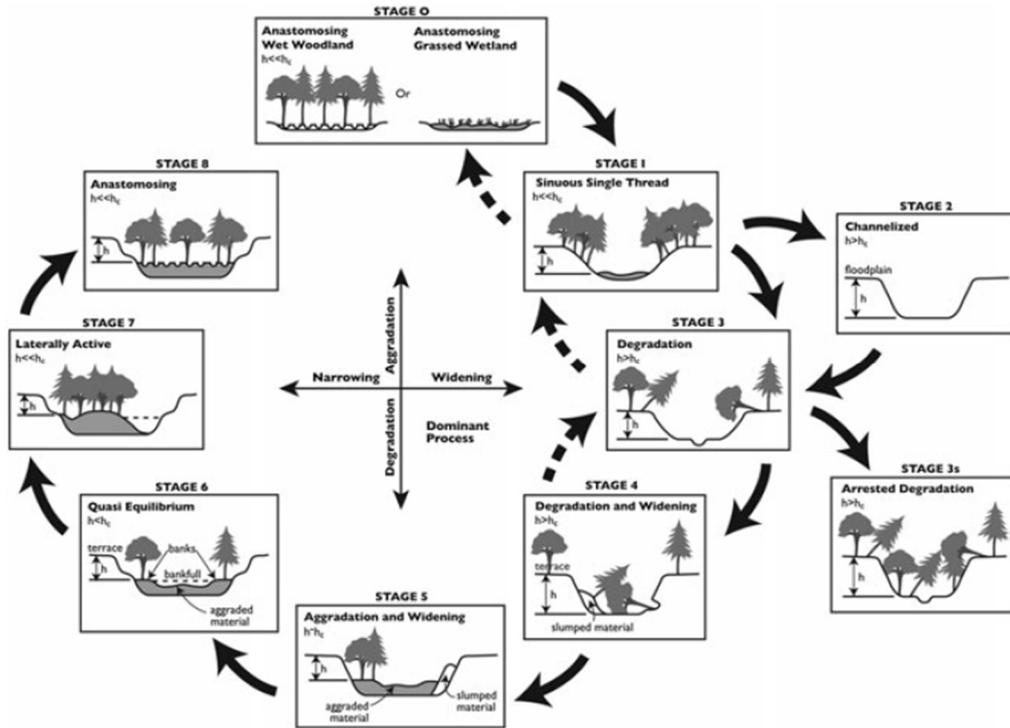


CEM 5 : accumulation et élargissement

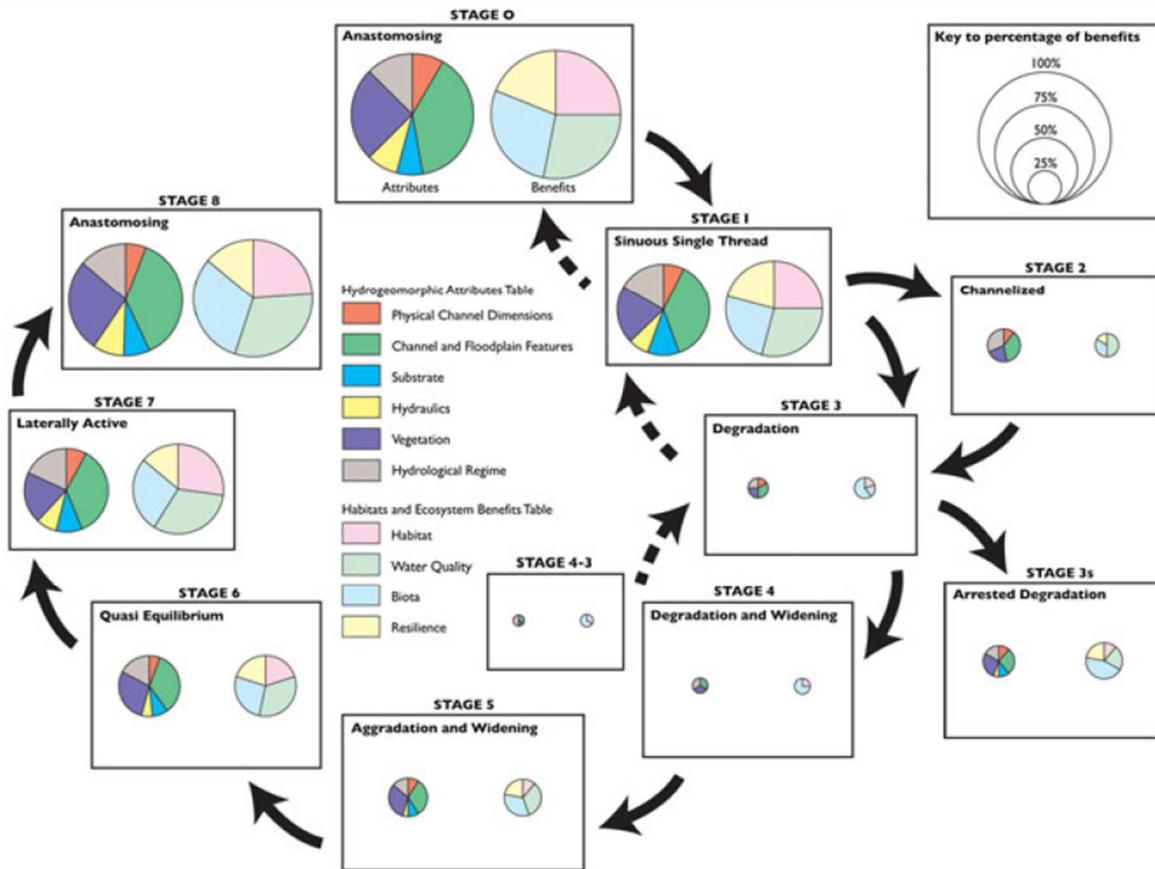


CEM 6 : quasi-équilibre





Classes d'Évolution morphodynamique - CEM (Cluer & Thornes, 2012)



Bénéfices pour les habitats et les écosystèmes de chaque CEM (Cluer & Thornes, 2012)

ANNEXE D : Paramètres complémentaires de la Méthode de Cowan**C1 : Matériau des berges** (Cowan, Benson & Dalrymple, 1967 ; Tableau ci-dessous)

<i>Matériau</i>	<i>Taille (mm)</i>	<i>n_b</i>	
		min	max
Béton		0,012	0,018
Terre		0,025	0,032
Sable	1 – 2	0,026	0,035
Graviers	2 – 64	0,028	0,035
Galets	64 – 256	0,030	0,050
Blocs rocheux	> 256	0,040	0,070

Evaluation des matériaux des berges par la méthode de Cowan

Matériau	Taille	Nb
Béton	-	0,015
Terre/Argile	-	0,0285
Sable	1-2	0,0305
Graviers	2-64	0,0315
Galets	64-256	0,04
Blocs	> 256	0,55

C2 : L'homogénéité des profils en travers, la variation de section (Tableaux ci-dessous)

<i>Variation de la section</i>	<i>n₂</i>		<i>Descriptif</i>
	min	max	
Progressive	0,000		La taille et la forme de la section en travers changent progressivement.
Alternant occasionnellement	0,001	0,005	Grandes sections et sections réduites alternent parfois, ou bien le courant principal se déplace d'une rive à l'autre en raison des changements de la forme de la section en travers.
Alternant fréquemment	0,010	0,015	Grandes sections et sections réduites alternent fréquemment, ou bien le courant principal se déplace d'une rive à l'autre en raison des changements de forme de la section en travers.

Evaluation de la variation de section par la méthode de Cowan

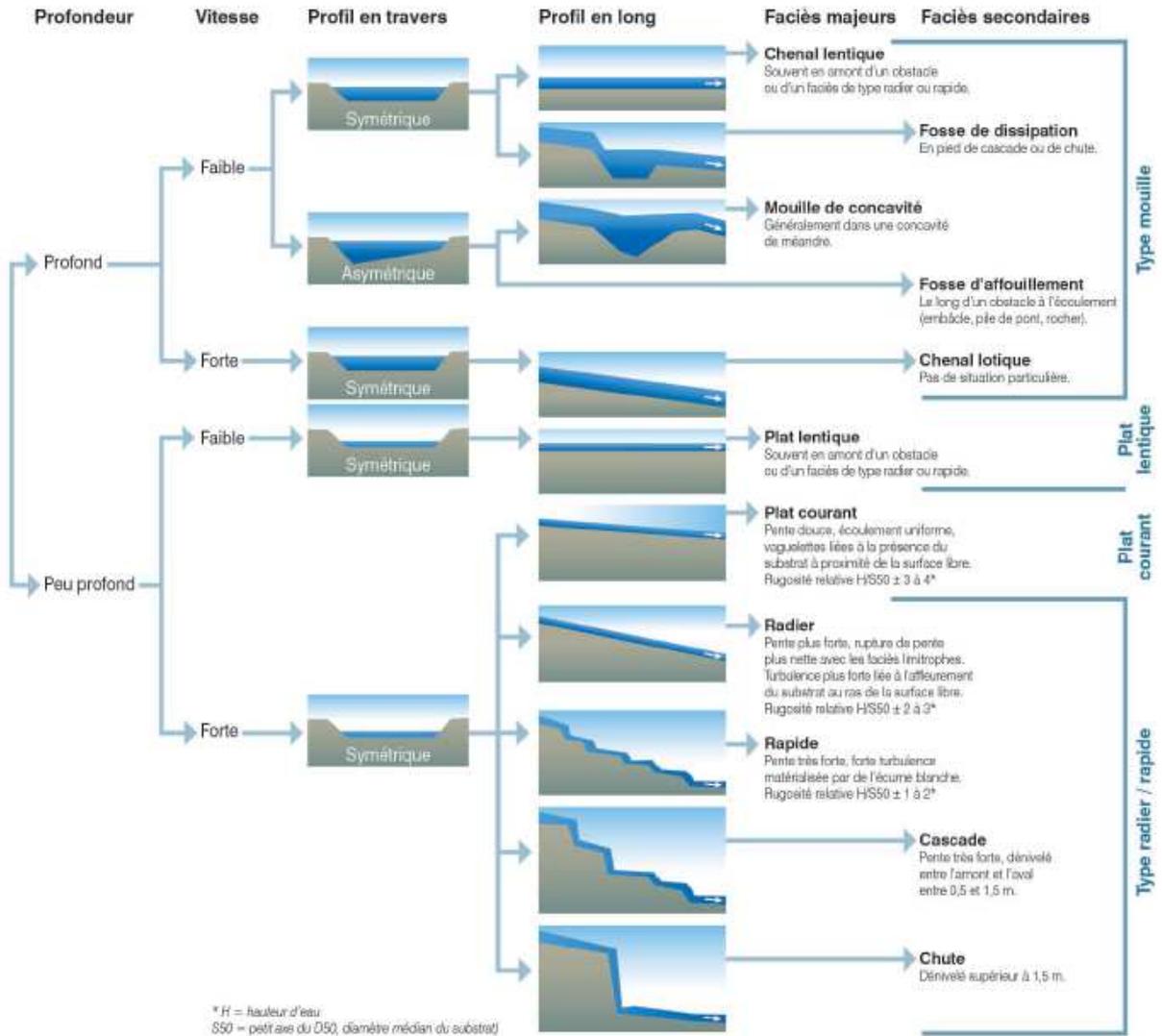
Variation de la section	N3 (médiane)	Descriptif
Progressive	0	La taille et la forme du profil en travers change progressivement (exemple : cours d'eau recalibré récemment).
Alternant occasionnellement	0,003	Les grandes sections et les sections réduites alternent parfois, ou bien l'écoulement principal se déplace d'une rive à l'autre en raison de l'évolution des profils en travers.
Alternant fréquemment	0,0125	Les grandes sections et les sections réduites alternent fréquemment, ou bien l'écoulement principal se déplace d'une rive à l'autre en raison de l'évolution des profils en travers.

C3 : Quantité de végétation

Effet des obstructions	n ₃		Descriptif
	min	max	
Négligeable	0,000	0,004	Quelques obstacles épars, incluant dépôts de débris, souches, racines apparentes, branchages, piles ou rochers isolés, occupant moins de 5% de la section mouillée.
Faible	0,005	0,015	Les obstacles occupent moins de 15% de la section mouillée, and l'espacement entre ceux-ci est tel que la sphère d'influence autour de l'un d'entre eux ne s'étend pas jusqu'à celle de l'obstacle suivant. De plus petits ajustements sont utilisés pour des objets arrondis et lisses que pour des objets anguleux.
Sensible	0,020	0,030	Les obstacles occupent de 15 à 50% de la section mouillée, ou bien l'espace entre ceux-ci est assez réduit pour provoquer le cumul des effets dus à différents obstacles, obstruant ainsi une partie équivalente de la section mouillée.
Très marqué	0,040	0,050	Les obstacles occupent plus de la moitié de la section mouillée, ou bien l'espace entre eux est assez réduit pour générer de la turbulence dans la quasi-totalité de la section.

<i>Quantité de végétation</i>	<i>n₄</i>		<i>Descriptif</i>
	<i>min</i>	<i>max</i>	
Négligeable	0,000		N'importe quel type et densité de végétation sur les berges de cours d'eau de plus de 30 m de large, avec moins de 25% du périmètre mouillé végétalisé et sans végétation notable sur le fond. Herbe fauchée ou vesce sur les berges de cours d'eau de plus de 15 m de large (peut s'appliquer à de plus petits cours d'eau).
Faible	0,002	0,010	Surfaces denses d'herbe souple, comme le cynodon, ou plantes aquatiques poussant là où la profondeur de l'eau atteint au moins deux fois la taille de la végétation. Arbustes souples plantés, comme le saule, le peuplier, la marante ou le cèdre maritime poussant là où la profondeur de l'eau atteint au moins trois fois la hauteur de la végétation. Buissons arbustifs denses, plantes annuelles à tige souple, et éventuellement quelques arbres matures, occupant 25 à 50% du périmètre mouillé, cela en toutes saisons sur les berges de cours d'eau larges de 30 à 75 m, et durant la morte-saison sur les berges de cours d'eau de 15 à 30 m de large.
Moyenne	0,010	0,025	Gazon poussant là où la profondeur moyenne de l'eau et de une à deux fois la taille de la végétation ; plantes racinaires modérément denses, plantes aquatiques, ou arbres plantés, poussant là où la profondeur moyenne de l'eau est de deux à trois fois la hauteur de la végétation ; Végétation modérément dense, buissonnante, comparable à des saules âgés d'un à deux ans en morte-saison, ou bien hautes herbes et plantes à tige souple en haute saison, poussant le long des berges et sans végétation notable sur le fond de cours d'eau dont le rayon hydraulique est supérieur à 60 cm. Buissons arbustifs denses, plantes annuelles à tige souple, et éventuellement quelques arbres matures, occupant 25 à 50% du périmètre mouillé sur les berges de cours d'eau de 9 à 30 m de large.
Importante	0,025	0,050	Gazon poussant là où la profondeur moyenne est environ égal à la hauteur de la végétation ; saules ou peupliers âgés de 8 à 10 ans entremêlés de mauvaises herbes et de buissons (tous sans feuillage) où le rayon hydraulique est supérieur à 60 cm ; saules buissonnants âgés d'un an entremêlés de mauvaises herbes sur les berges (feuillage complet) et pas de végétation notable sur le fond de cours d'eau où le rayon hydraulique est supérieur à 60 cm.
Très importante	0,050	0,100	Gazon poussant là où la profondeur de l'eau n'excède pas la moitié de la hauteur de la végétation ; saules buissonnants d'environ un an entremêlés de mauvaises herbes ou de buissons (feuillage complet) ou roseaux denses poussant sur le fond ; arbres entremêlés de mauvaises herbes et de buissons (feuillage complet).

Annexe E : TYPOLOGIE DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT
 (Adaptée de Malavoi & Souchon, 2002 ; Baudoin *et al.*, 2018)



ANNEXE F : TABLE TERRAIN COURS D'EAU - LIT MINEUR

ID_CE			
Date			
N° GPS_aval			
N° GPS_amont			
Typ_reseau			
Form_vallée			
Largeur_vallee_plat_m			
Talweg(OUI/NON)			
Sinuosité			
CIRCUL_EAU (A-E)			
K_Section (*)			
PT1_Lpb (m)			
PT1_Lbase (m)			
PT1_Htotal (m)			
Si ARTIF_Encaiss_RG_m			
Si ARTIF_Encaiss_RD_m			
Classe_CEM			
Si CEM6_largeur banquettes (m)			
Granulo_dom_radier			
Granulo_acc_radier			
Colmatage_radier			
K_materiaux (*)			
Erodabilité			
Erosion			
Apport_solide			
% plat courant			
% radier			
% plat lent			
% mouille			
% chute naturelle			
Habitats			
K_rugosité			
K_irrégularités (*)			
K_QT_obstacles			
K_QT_végétation_dslit			
Nature_intervention 1			
Nature_intervention 2			
Occ_sol_5m_RG			
Occ du sol_10m_RG			
Nature_ripisylve_RG			
Epaisseur_ripisylve_RG			
Continuité_ripisylve_RG			
Occ_sol_5m_RD			
Occ du sol_10m_RD			
Nature_ripisylve_RD			
Epaisseur_ripisylve_RD			
Continuité_ripisylve_RD			
Observations			
Nature_intervention			
N°photos			

Les paramètres suivis d'un (*) sont optionnels dans cette version mais sont indispensables pour calculer la rugosité à l'aide de la formule de Cowan.

ANNEXE G : TABLE TERRAIN RESEAU HYDRAULIQUE ANNEXE

CODE_CE		
ID_RHA		
Date		
N°GPS		
Type_RHA		
Connexion		
Si_indirecte		
H_LIGNE_DEAU (m)		
Profondeur_fossé		
K_obstacles		
K_végétation		
Observations		
N° Photos		

ANNEXE H : TABLE TERRAIN OBSTACLES ANTHROPIQUES A L'ECOULEMENT

CODE_CE		
ID_OH		
Date		
N°GPS		
Typo_obstacle		
Sous_type		
Longueur_m		
Largeur (m)		
Hchute estimé (m)		
H fosse dappel (m)		
Tirant d'eau (m)		
Redan (m)		
Recons_substrat		
Franchis_poisson		
Franchiss_mamm		
Usage		
Observations		
Nature_intervention		
N° Photos		

ANNEXE I : TABLE TERRAIN RANG O

ID_R0			
Date			
N° GPS (AVAL)			
N° GPS (AMONT)			
Typ_source			
Observations			
Nature_intervention			
N°_photographies			