

# Carhyce

Caractérisation **hydromorphologique** des **cours d'eau**

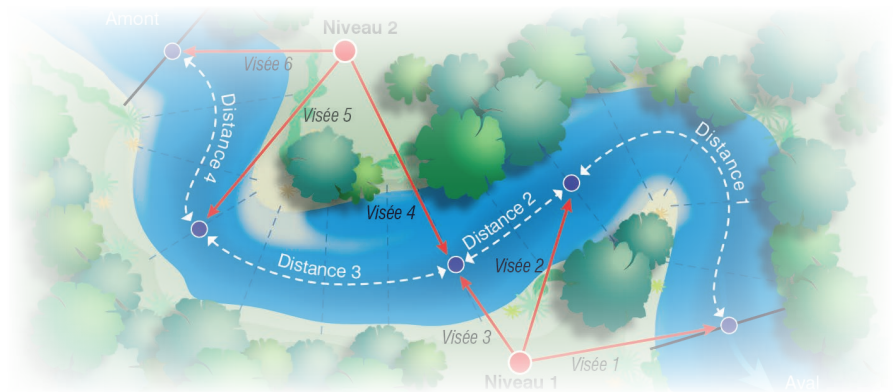
**Protocole de recueil  
de données hydromorphologiques  
à l'échelle de la station  
sur les cours d'eau prospectables à pied**





**Carhyce** - Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau

## Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied



**Contexte** : le présent document a pour vocation d'assister la mise en œuvre du protocole de caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau Carhyce. Il définit les données à relever et leur méthode d'acquisition.

# Auteurs et contributeurs

## Rédaction de

**Jean-Marc Baudoin, AFB**

(Direction générale – Direction de la recherche, de l'expertise et du développement des compétences)

**Laetitia Boutet-Berry, AFB**

(Direction régionale Centre - Val-de-Loire)

**Michaël Cagnant, AFB**

(Direction interrégionale Provence-Alpes-Côte d'Azur)

**Frédéric Gob, UMR CNRS-Université de Paris, Panthéon-Sorbonne**

(Laboratoire de géographie physique)

**Karl Kreutzenberger, AFB**

(Direction générale – Direction de l'appui aux politiques publiques)

**Florent Lamand, AFB**

(Direction régionale Grand-Est)

**Jean-René Malavoi, EDF**

(Direction de la production et de l'ingénierie hydraulique)

**Pierre Marmonier, UMR CNRS-Université de Lyon, Claude-Bernard**

(Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés)

**Caroline Pénil, AFB**

(Direction générale – Secrétariat général)

**Camille Rivière, AFB**

(Direction interrégionale Normandie - Hauts-de-France)

**Michaël Sadot, AFB**

(Direction interrégionale Auvergne-Rhône-Alpes)

**Vincent Tamisier, CNRS**

(Laboratoire de géographie physique)

**Mélanie Tual, AFB**

(Direction régionale Occitanie)

## Avec la contribution

- **des services de l'Agence française pour la biodiversité (AFB)**  
(Direction régionale Bourgogne-Franche-Comté : S. Besson, J. Bouchard ;  
Direction interrégionale Bretagne-Pays de la Loire : O. Ledouble, T. Vigneron ;  
Direction régionale Grand-Est, Service départemental de l'Aube : S. Lafon ;  
Direction générale : J.-P. Porcher)
- **des Agences de l'eau**  
(Adour-Garonne : P. Poulain ; Artois-Picardie : J.-P. Lefebvre ;  
Loire-Bretagne : J.-N. Gauthier, J. Moy ; Méditerranée-Corse : L. Bourdin ;  
Rhin-Meuse : P. Russo ; Seine Normandie : A. David-Vaudey)
- **du Centre national de la recherche scientifique (CNRS)**  
(Laboratoire dynamiques sociales et recomposition des espaces : C. Bilodeau)
- **de l'École supérieure des géomètres et topographes**  
(Laboratoire Gef : N. Thommeret)
- **de l'Irstea**  
(unité MAEP : A. Chandesris, Y. Souchon ; unité Quasare : M.-B. Albert, J. Belliard)
- **et du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (S. Grivel).**

## Coordination de Karl Kreutzenberger

(AFB, Direction générale – Direction de l'appui aux politiques publiques)

**Remerciements** à l'ensemble des agents techniques, techniciens et ingénieurs de l'Agence française pour la biodiversité pour leur apport aux développements et réflexions méthodologiques alimentés par la mise en œuvre et la collecte des données sur le terrain.



**Droits d'usage :** libre.

**Mots-clés :** hydromorphologie, sédiments, DCE, ripisylve, débit, lit à pleins bords, substrat, berge, habitat.

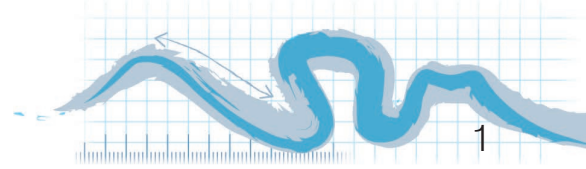
**Couverture géographique :** nationale.

**Niveau géographique :** national.

**Niveau de lecture :** document technique, support de formation et de mise en œuvre.

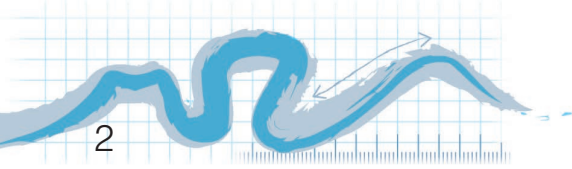
**Langue :** français.

**Diffuseur :** Agence française pour la biodiversité (AFB).



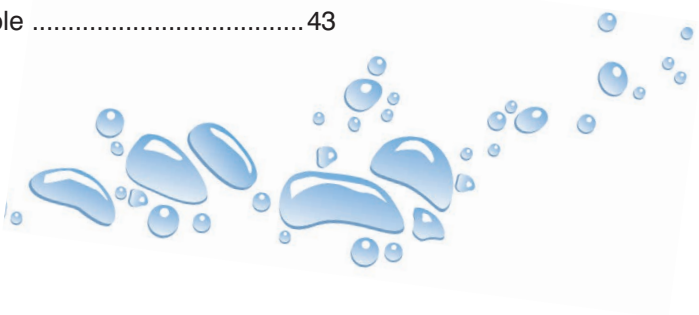
# Sommaire

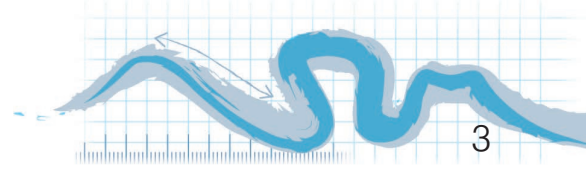
<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Les conditions d'application.....</b>	<b>5</b>
1.1. L'applicabilité du protocole.....	5
1.2. Les conditions hydroclimatiques et les aspects de sécurité .....	5
<b>2. La préparation et les moyens .....</b>	<b>7</b>
2.1. Les pré-requis.....	7
2.2. Les moyens humains .....	7
2.3. Les moyens matériels .....	8
<b>3. Les dimensions et la position de la station .....</b>	<b>9</b>
3.1. Le choix de la station.....	9
3.2. Le parcours préalable de la station .....	9
3.3. Les mesures préliminaires .....	9
3.3.1. L'évaluation des largeurs à pleins bords	
3.3.2. L'évaluation des largeurs mouillées	
3.3.3. La longueur et le positionnement de la station	
<b>4. Le recueil de données sur les transects .....</b>	<b>15</b>
4.1. Le positionnement des transects.....	15
4.1.1. Règle générale	
4.1.2. Règle du décalage	
4.1.3. Règle du report	
4.1.4. Règle de la suppression	
4.2. Le positionnement des points de mesure sur les transects .....	17
4.3. La géométrie du lit.....	18
4.3.1. Les objectifs	
4.3.2. L'évaluation des largeurs à pleins bords	
4.3.3. L'évaluation des largeurs mouillées	
4.3.4. La hauteur à pleins bords	
4.3.5. La profondeur	
4.4. Le substrat minéral.....	21
4.5. Le support ou substrat additionnel.....	22



2

4.6. La caractérisation de la zone riparienne.....	23
4.6.1. Les berges	
4.6.2. Le corridor rivulaire et la ripisylve	
4.7. Les faciès.....	25
<b>5. Le recueil de données représentatives de la station.....</b>	<b>27</b>
5.1. La pente de la ligne d'eau.....	27
5.1.1. L'objectif de la mesure	
5.1.2. Le protocole et le niveau de précision attendu	
5.2. Le débit.....	29
5.2.1. L'objectif de la mesure	
5.2.2. Le choix de la méthode de mesure	
5.2.3. La mesure du débit par extrapolation des champs de vitesses	
5.3. La typologie et la dynamique sédimentaire.....	31
5.3.1. L'objectif de la mesure	
5.3.2. Le protocole et le niveau de précision attendue : la méthode Wolman	
5.4. Les habitats marginaux.....	32
5.5. La continuité de la ripisylve.....	32
5.6. Le colmatage.....	32
5.6.1. L'objectif de la mesure	
5.6.2. Le protocole et niveau de précision attendue	
5.6.3. Aide à la lecture des bâtonnets	
<b>Annexes .....</b>	<b>37</b>
1 Bibliographie .....	39
2 Gabarit pour la mesure des éléments de granulométrie sur les transects .....	41
3 Fiches de recueil et de mise en œuvre du protocole .....	43





## Introduction

Pendant longtemps, la problématique de la qualité de l'eau a été principalement abordée au travers du prisme de la chimie des eaux et des sources de pollution. Toutefois, les premières révolutions industrielles et agricoles, ainsi que les différentes politiques d'aménagement du territoire, ont eu des impacts (directs et indirects) sur les cours d'eau et leurs bassins versants ayant conduit parfois à modifier considérablement et durablement les processus hydrologiques et géomorphologiques qui y interviennent.

Or, l'équilibre de ces processus et les caractéristiques qui en découlent sont une composante essentielle du biotope : supports de la biocénose, ils façonnent les habitats et soutiennent les processus écologiques. Ils contrôlent ainsi l'intégrité des écosystèmes d'eau douce, la biodiversité et les services écosystémiques associés.

Une meilleure caractérisation des perturbations qui influent sur ces différents processus et la mise en œuvre de mesures pour les réduire sont des axes majeurs de la directive cadre européenne sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE). Cette directive incite à l'amélioration des connaissances et des pratiques pour une gestion environnementale intégrée et durable.

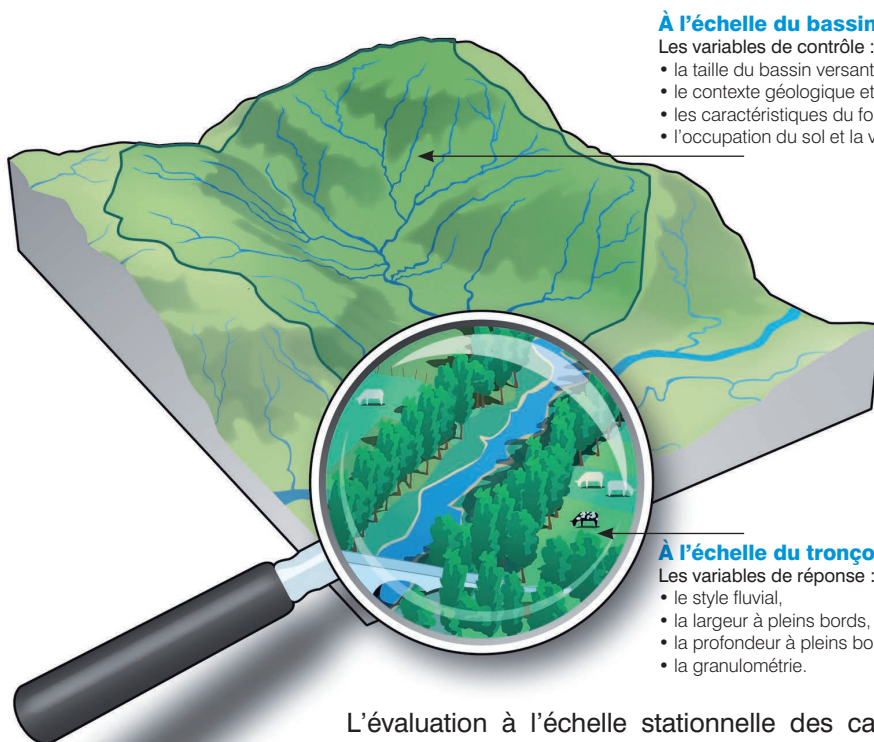
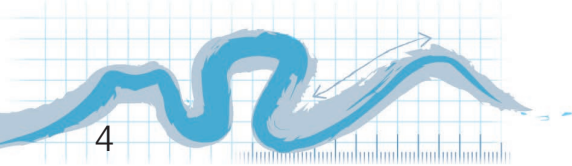
Elle identifie notamment l'hydromorphologie comme l'une des composantes soutenant la biologie, au travers de trois paramètres structurants pour les biocénoses aquatiques : hydrologie, continuité écologique et morphologie.

Mais l'évaluation de l'impact sur les biocénoses de l'altération des processus et caractéristiques hydromorphologiques est complexe, notamment du fait de la difficulté à le quantifier. Il peut s'avérer, par exemple, très difficile d'évaluer l'effet de quelques mètres de berges protégées par des enrochements, de quelques centaines de mètres de cours d'eau recalibrés ou encore d'un apport important de sédiments fins.

La modification d'un usage ou d'une pratique, influençant les variables dites de contrôle comme les débits solides et liquides, dans un bassin ou sur un tronçon de cours d'eau donné, peut en effet se traduire par une multitude de réponses sur les paramètres hydromorphologiques.

Les styles fluviaux (méandres, anastomoses, etc.), la géométrie du lit (profil en travers), la pente du cours d'eau (profil en long) ou encore la granulométrie du substrat sont autant de variables de réponse pouvant évoluer ou non en fonction des pressions subies par le milieu [figure 1, page suivante].

En vue de répondre aux exigences de la DCE et aux besoins opérationnels qui en découlent, l'Agence française pour la biodiversité a développé de nouvelles méthodologies visant à caractériser de manière objective l'état et les pressions hydromorphologiques exercées sur les rivières, en intégrant différentes échelles de fonctionnement.



#### À l'échelle du bassin versant

Les variables de contrôle :

- la taille du bassin versant (débit à pleins bords),
- le contexte géologique et climatique,
- les caractéristiques du fond de vallée,
- l'occupation du sol et la végétation.

#### À l'échelle du tronçon

Les variables de réponse :

- le style fluvial,
- la largeur à pleins bords,
- la profondeur à pleins bords,
- la granulométrie.

Figure 1 – Ajustement des variables de réponse en fonction des variables de contrôle dans des conditions naturelles.

→ Pour plus d'informations concernant les variables de contrôle et de réponse et les éléments d'hydromorphologie fluviale en général, voir Malavoi et Bravard, 2010.

L'évaluation à l'échelle stationnelle des caractéristiques hydromorphologiques du cours d'eau est ainsi réalisée grâce au protocole de caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau (Carhyce). Le contexte physique global est apprécié par ailleurs au moyen de la typologie des tronçons<sup>1</sup> ainsi qu'au moyen des données du système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau en métropole et de son équivalent en outremer, le référentiel hydromorphologique ultramarin. Ces méthodes complémentaires ont pour objectifs d'évaluer le fonctionnement des processus hydromorphologiques et l'impact des pressions, et de replacer les mesures biologiques dans leur contexte physique local.

La méthode Carhyce permet de disposer de données hydromorphologiques de terrain objectives (limitation maximale du recours à l'expertise).

Elle prévoit sur une station :

- de réaliser des mesures de géométrie hydraulique (transects, pente, débit) ;
- de décrire les habitats (berges, ripisylves, etc.) ;
- de caractériser la granulométrie.

Ces données contribuent à la construction d'un référentiel hydromorphologique spatial et dynamique<sup>2</sup>. Ces modèles de référence permettent dans un second temps de caractériser l'ensemble des stations en évaluant leur écart par rapport à la référence.

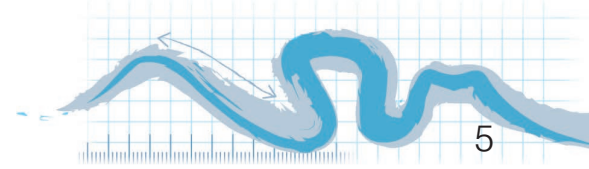
Prochainement soumis au processus de normalisation, Carhyce représente aujourd'hui le standard national (DOM y compris) déployé sur les réseaux DCE et constitue le socle de base proposé aux gestionnaires pour une harmonisation des suivis d'opérations de restauration hydromorphologique de cours d'eau.

L'application nationale de cette méthodologie standardisée par les gestionnaires et la bancarisation des données dans la banque web éponyme permettent l'avancée des connaissances scientifiques et techniques sur l'hydromorphologie des cours d'eau, en particulier, la connaissance des liens entre les pressions et leurs impacts. À terme, ces données permettront d'analyser les trajectoires des hydrosystèmes soumis à des altérations physiques locales ou résultantes des changements globaux, et/ou soumis à des programmes de restauration de diverses envergures.

1 - Voir Cemagref, 2009.

2 - Voir Gob et al., 2014.





# Les conditions d'application



## 1.1 – L'applicabilité du protocole

Le protocole décrit dans ce document est applicable sous certaines conditions et pour certaines typologies de cours d'eau. Tout d'abord, la majeure partie de la station doit être prospectable à pied dans des conditions hydrologiques adéquates pour la réalisation du protocole [cf. § 1.2].

Pour les cours d'eau en gorges, ou situés dans des vallons encaissés, le protocole Carhyce s'applique, moyennant une adaptation de la notion de pleins bords [cf. § 3.3.1].

Pour des cours d'eau présentant des chenaux multiples ou une forme dite en « tresse », le protocole est théoriquement applicable. Cependant, il subsiste des difficultés techniques pour sa mise en œuvre et des incertitudes quant à la qualité des données collectées.

Dans tous les cas, l'opérateur veillera à noter les conditions ayant affecté la prises de mesures.

## 1.2 – Les conditions hydroclimatiques et les aspects de sécurité

En premier lieu, il faut évaluer les risques pour proposer les mesures de prévention à mettre en place : dans cette phase, on abordera notamment les accès à la station, les moyens de communication et les risques inhérents à une intervention dans le cours d'eau et sur ses rives.

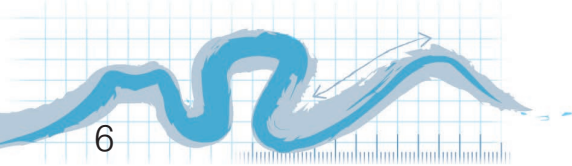
L'évaluation du risque doit déboucher sur des consignes dont le rappel et la mise en œuvre sont sous la responsabilité du chef d'opération.

Dans les cas extrêmes, lorsque aucune prévention n'est possible et que le risque résiduel n'est pas acceptable, la station ne doit pas être prospectée : configuration du site à prospecter incompatible avec la sécurité des opérateurs, par exemple, vitesse du courant trop importante, etc.

L'évaluation du risque doit impérativement être effectuée par le chef opérateur avant chaque manipulation. Mais cette responsabilité ne dispense pas les opérateurs d'exercer leur esprit critique pour une évaluation des risques qui tiendra compte de leurs propres aptitudes, par exemple.

Le port du gilet de sauvetage est conseillé mais il s'apprécie aussi en fonction des niveaux d'eau. L'usage de gants protégeant de l'écrasement est recommandé lors des manipulations réalisées à l'aide de barre à mine. Enfin, des gants protégeant des coupures pourront être utilisés lors des prélèvements dans l'eau.





6

Le protocole doit être appliqué dans des conditions hydrologiques favorables à l'observation des différentes composantes morphologiques du cours d'eau (substrat du lit, berge, végétation), à l'installation du matériel de mesure et à la sécurité des opérateurs.

Il est également nécessaire de travailler à un débit compris entre le débit moyen mensuel minimum interannuel ( $Q_{mna}$ ) et le module. L'idéal est d'être au plus près du minimum de cet intervalle, soit le  $Q_{mna}$ . Un débit de cet ordre permet de mieux discriminer les faciès d'écoulement (à des débits plus élevés, les faciès d'écoulement ont tendance à se « lisser »). De plus, il est toujours plus juste d'un point de vue hydraulique, de procéder à une modélisation en partant d'un débit faible vers un débit plus fort, que l'inverse.

Toutefois, les mesures ne devront en aucun cas être réalisées en condition d'étiage sévère. En effet, des calculs hydrauliques basés sur des mesures réalisées dans de telles conditions ne sont pas fiables.

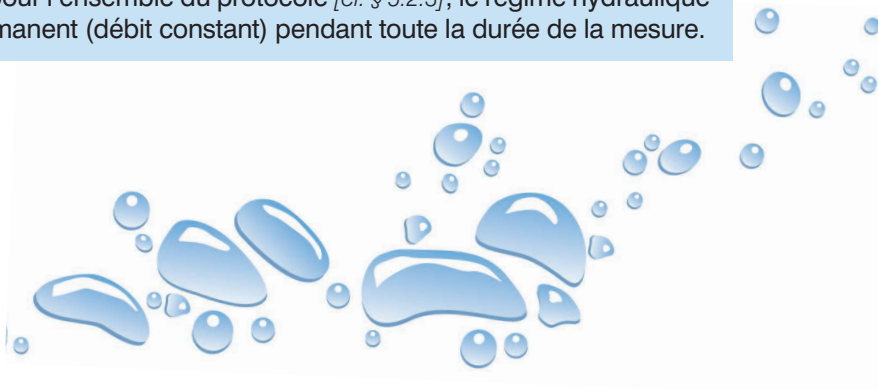
Pour plus d'informations, il est possible de se reporter au guide sur les contrôles de débits réglementaires de l'Onema <sup>3</sup>.

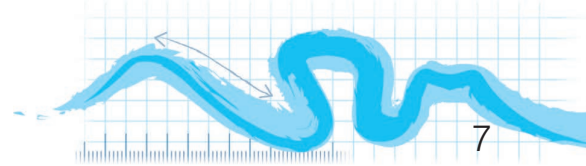
En outre, si au cours de la mise en œuvre du protocole les conditions hydrologiques sont amenées à évoluer de manière significative sur la station (ex : éclusées), alors le protocole ne doit pas être appliqué. Les données issues d'une telle situation seraient inexploitable.

Enfin, il est recommandé de travailler durant la phase végétative, afin de décrire au mieux les habitats et la ripisylve.



Comme pour l'ensemble du protocole [cf. § 5.2.3], le régime hydraulique doit être permanent (débit constant) pendant toute la durée de la mesure.





# La préparation et les moyens

# 2

## 2.1 – Les pré-requis

Avant de mettre en œuvre le protocole, l'opérateur devra veiller à se procurer les autorisations nécessaires (accès sur des terrains privés, etc.).

Pour préparer au mieux la phase terrain, il est possible de repérer préalablement la station grâce à des supports cartographiques (photos aériennes par exemple). Cela permettra notamment d'identifier les accès à la station ; si le cours d'eau est suffisamment large et la ripisylve peu dense, il sera également possible d'estimer les largeurs du cours d'eau.

Cette lecture de la station s'intègre dans l'exercice d'évaluation du risque. Un point important à ce stade est la prise en compte des délais de route qui conditionne l'organisation logistique.



Les mesures effectuées depuis un ordinateur ne peuvent se substituer aux mesures de terrain décrites dans la suite du document.

## 2.2 – Les moyens humains

Le protocole Carhyce peut être mis en œuvre par une équipe d'au minimum trois personnes. En moyenne, cinq personnes sont mobilisées. Il peut être parfois intéressant de constituer plusieurs sous-équipes pour mettre en œuvre les différents ateliers (débit, pente, transects, etc.) du protocole simultanément.

L'effectif, et l'organisation qui en résulte, sont fonction de la configuration de la station (rapport entre la largeur mouillée et la largeur à pleins bords, densité de ripisylve, type d'écoulement, etc.).

L'effectif dans ce cadre est aussi un élément de sécurité : le nombre d'agents découle d'une évaluation du risque sur la station.



## 2.3 – Les moyens matériels

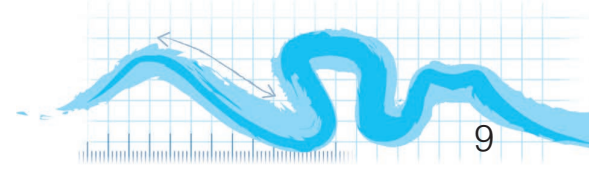
Le tableau ci-après dresse la liste du matériel nécessaire pour l'application du protocole.

À cela, il faudra ajouter les matériels « hygiène et sécurité » classiques valables pour toutes les missions sur le terrain : trousse de secours, eau potable, savon, gel anti-bactérien, téléphone portable, etc. ; lunettes à verres polarisants pour sécuriser le cheminement dans l'eau ; gilet de sauvetage pour les opérateurs lorsque le risque de noyade est une préoccupation et gants (protection contre l'écrasement, protection contre les coupures).

Tableau 1  
Liste du matériel nécessaire à une opération Carhyce.

	Nombre		Définition station	Les différents ateliers du protocole Carhyce				
	Minim.	Optim.		Transect	Pente	Débit	Colmatage	Wolman
<b>Matériel obligatoire</b>								
Appareil photo	1	1		✓			✓	
Barre à mine	1	1					✓	
Bâtonnets	8	10					✓	
Clinomètre	1	2		✓				
Courantomètre	1	1				✓		
GPS	1	1	✓				✓	
Gabarit	0	1		✓				
Jalons-repères	2	15	✓	✓				
Mires	1	2		✓	✓	✓		
Masse ou massette	1	2				✓	✓	
Niveau à bulle, mire à bulles et trépied	1	2			✓			
Pied à coulisse ou réglet	1	2		✓				✓
Piquets métalliques	2	4		✓		✓		
Planche et crayon	1	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ruban de mesure (30 m)	1	2	✓	✓		✓		
Télémetre	1	2	✓	✓			✓	
Topofil et bobine	2	4	✓		✓			
<b>Matériel optionnel</b>								
Calculatrice	1	2	✓	✓	✓			
Machette	1	2	✓	✓	✓			
Règle de maçon à bulle	1	1		✓				
Talkies-walkies (paire)	1	3			✓			

✓ : matériel indispensable  
✓ : matériel pouvant être utile et utilisé



# Les dimensions et la position de la station

# 3

## 3.1 – Le choix de la station

Toute station de mesures, tant biologique que physique, doit être positionnée de façon à répondre à l'objectif posé.

Si l'objectif est de caractériser l'hydromorphologie d'une station en vue d'extrapoler les résultats à un tronçon plus grand, alors la station choisie doit être représentative du compartiment mesuré au niveau du tronçon hydromorphologique (entité géomorphologique supérieure à la station) dans lequel elle se situe.

Si l'objectif est de suivre une restauration ou une altération, alors la station peut être positionnée au droit des travaux ou de la dégradation, afin d'en apprécier directement l'évolution.

Pour plus d'informations concernant les notions de représentativité hydromorphologique, il est possible de se référer au document : « *Construire le retour d'expérience des opérations de restauration hydromorphologique. Éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal. Annexe : Aide aux choix de stations représentatives du point de vue hydromorphologique, 2012* ».

## 3.2 – Le parcours préalable de la station

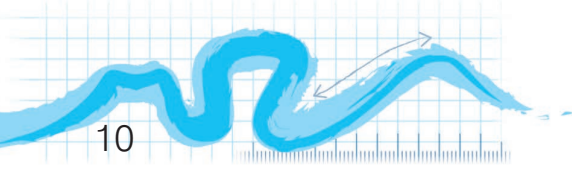
La station est d'abord positionnée grossièrement par les opérateurs en marchant le long du cours d'eau et en repérant la zone d'étude la plus favorable à son implantation sur le tronçon [cf. § 3.3.3]. Cette phase permettra d'évaluer globalement les différentes composantes de l'hydromorphologie du cours d'eau, et notamment d'identifier le niveau à pleins bords moyen sur l'ensemble de la station. De plus, l'opérateur identifiera les différents faciès présents sur la zone d'étude. Il placera grossièrement les transects et identifiera les éventuelles zones problématiques qui pourraient gêner la bonne application du protocole (ponts, etc.). Si ces zones problématiques étaient présentes en trop grand nombre, il conviendrait de revoir le positionnement de la station.

## 3.3 – Les mesures préliminaires

### 3.3.1 – L'évaluation des largeurs à pleins bords

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. 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.





Afin de déterminer la longueur de la station, le protocole Carhyce nécessite tout d'abord d'évaluer la largeur à pleins bords du cours d'eau ( $l_{pb-ev}$ ) en aval du tronçon retenu pour l'opération. Pour cela, au moins trois largeurs à pleins bords doivent être mesurées.

L'emplacement de la première mesure matérialisera l'origine, ou point aval, de la station, si possible au niveau d'un radier ou d'un plat courant. Cette mesure doit être prise sur une portion rectiligne, ou, à défaut, au droit du point d'inflexion entre deux sinuosités [figure 2].

Les deux autres mesures seront prises à l'amont de la première, sur des transects espacés de deux fois la valeur de la première mesure, tout en évitant les zones de surlargeurs [cf. encadré en bas de page]. La moyenne de ces trois mesures sera utilisée pour déterminer la longueur de la station (L).

En pratique, les opérateurs repèrent, sur chaque berge, la rupture de pente entre la plaine d'inondation, quasi-plane, et la berge. Ces limites, nommées bords de berges, se situent à l'endroit où la pente de la berge diminue significativement, tendant vers une pente faible ou nulle. Les opérateurs déterminent ensuite le bord de berge le plus bas.

La largeur à pleins bords correspond à la longueur de la ligne fictive qui relie horizontalement le bord de berge le plus bas à la berge opposée [figure 3].

! Les mesures de largeur à pleins bords doivent être réalisées en prenant soin d'éviter les sections dissymétriques complexes, notamment les zones de surlargeurs dans les sinuosités actives ou encore les sections avec présence d'îles. La figure 4 illustre la différence de valeur qu'il peut y avoir entre deux mesures de largeur à pleins bords sur un même cours d'eau à deux endroits différents. Le transect AA' est situé sur une sinuosité (zone présentant une surlargeur due aux phénomènes d'érosion et de dépôt), alors que le transect BB' est situé sur une partie rectiligne du cours d'eau. Ainsi, les transects utilisés pour estimer  $l_{pb-ev}$  peuvent être légèrement décalés pour remplir ces conditions. Notons enfin que c'est aussi au droit des points d'inflexion ou des portions rectilignes que l'on trouve généralement les faciès d'écoulement (radier ou plat courant) les plus favorables aux mesures permettant des calculs hydrauliques (type Manning-Strickler). L'écoulement y est généralement uniforme.

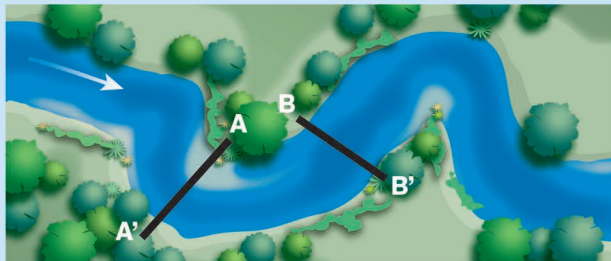


Figure 4 - Exemples de formes de section selon la localisation en plan.

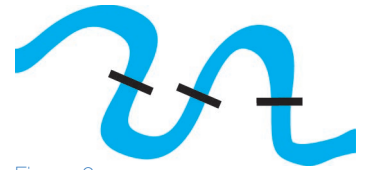
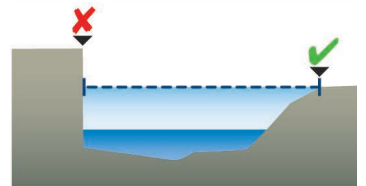
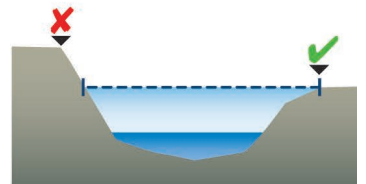
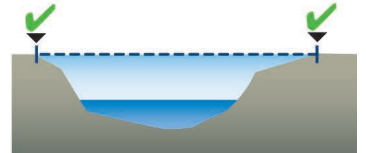
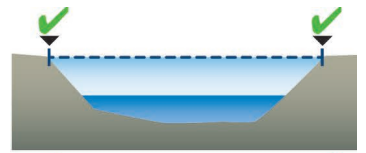


Figure 2  
Positionnement des mesures de  $l_{pb}$  aux points d'inflexion de méandres.



Repérage du niveau de pleins bords :  
 ✓ rupture de pente à utiliser  
 ✗ rupture de pente à ne pas utiliser  
 |---| Largeur de pleins bords

Figure 3  
Exemples de mesure de largeur à pleins bords.

Ces largeurs à pleins bords sont relevées soit à l'aide d'un ruban de mesure, soit avec un télémètre entre les deux bords de berge et perpendiculairement à l'écoulement, avec une précision de 10 %.

Pour les cas particuliers des cours d'eau en gorges, ou situés dans des vallons encaissés, il est nécessaire d'utiliser comme repère de hauteur à pleins bords l'implantation de végétaux pérennes [figures 5 et 6]. En effet, ces cours d'eau ne débordant pas, ils ne présentent pas de bords de berges marqués soulignant la limite de dispersion de l'énergie [cf. § 3.3.1].

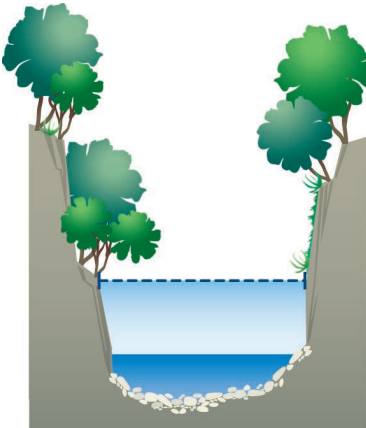


Figure 5  
Limite retenue pour le niveau à pleins bords dans le cas des vallées encaissées.



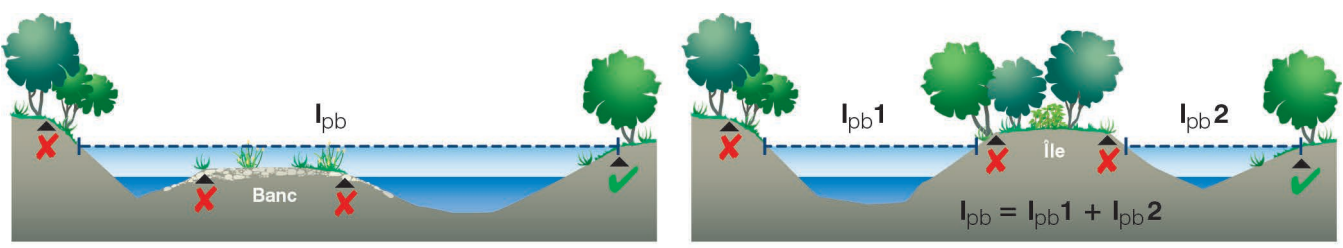
Vincent Tarnisier, CNRS-LGP

Figure 6 - Exemple de délimitation du niveau à pleins bords pour une vallée encaissée.

Il faut également prendre en compte les cas des bancs alluviaux et des îles.

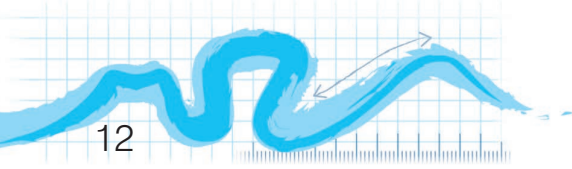
Les îles, très peu mobiles, sont généralement végétalisées (sauf si elles sont cultivées ou pâturées) et leur sommet se situe au-dessus du niveau à pleins bords, c'est-à-dire sensiblement à la même altitude que la plaine alluviale de part et d'autre du cours d'eau [figure 7]. Dans ces cas, la largeur à pleins bords est donnée en retranchant la largeur de l'île.

À l'inverse, les bancs alluviaux sont généralement mobiles et dépourvus de végétation ligneuse ; leur sommet est en dessous du niveau à pleins bords [figure 7]. Dans cette situation, la largeur du banc n'est pas à retrancher de la largeur à pleins bords.



Repérage du niveau de pleins bords : ✔ rupture de pente à utiliser ✘ rupture de pente à ne pas utiliser  Largeur de pleins bords

Figure 7 - Mesure de la largeur à pleins bords en présence d'un banc alluvial ou d'une île.



# Étude de quelques cas

→→→ Il est fréquent de trouver des banquettes ou replats positionnés sous le niveau de la plaine alluviale (notamment dans les convexités des méandres). Ceux-ci font partie du lit mineur même s'ils sont végétalisés. Pour positionner le niveau à pleins bords, il est conseillé de s'aider du niveau à pleins bords identifié à l'amont et à l'aval de ces replats.



J. Bouchard, AFB

Figure 8 : Évaluation du niveau à pleins bords dans le cas de banquettes ou de replats.



S. Besson, AFB

→→→ Dans d'autres cas, la partie supérieure du chenal s'évase et la pente des berges diminue parfois assez fortement. Le niveau à pleins bords ne doit pas être considéré à la première rupture de pente mais bien au niveau de l'entrée dans le lit majeur (lorsque le terrain devient sub-horizontale).

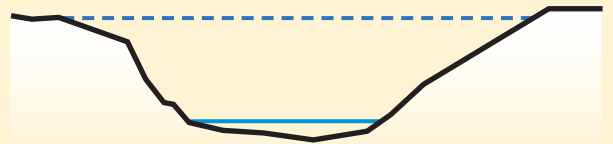


Figure 9 : Évaluation du niveau à pleins bords dans le cas de chenaux évases avec diminution de la pente des berges.

→→→ Dans le cas d'un cours d'eau ayant subi un recalibrage, il convient de considérer la totalité du chenal ; même s'il semble surcalibré par rapport à l'écoulement.

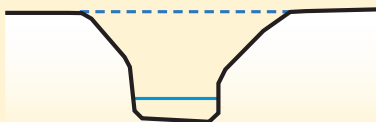


Figure 10 : Évaluation du niveau à pleins bords dans le cas d'un cours d'eau recalibré.



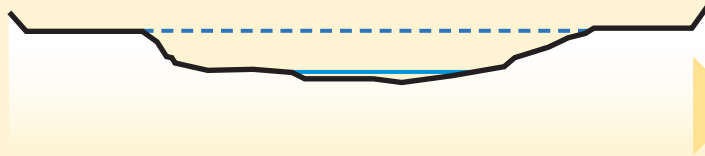
J. Bouchard, AFB



J. Bouchard, AFB



→→→ Dans le cas d'une rivière en tresse ou divagante, on s'aidera de la végétation pour déterminer la limite de la bande active (lit mineur).



V. Tamisier, CNRS-LGP

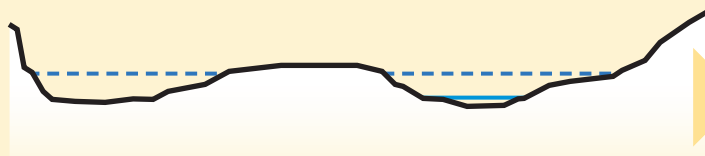
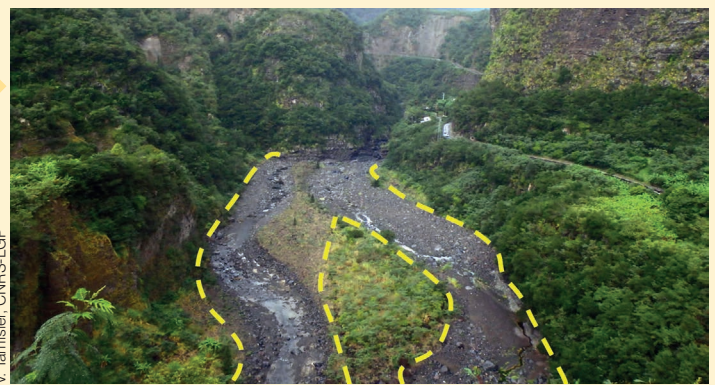


Figure 11 : Évaluation du niveau à pleins bords dans le cas d'une rivière en tresse ou divagante.

V. Tamisier, CNRS-LGP



→→→ Dans le cas d'une rivière encaissée, on s'aide de la base de la végétation ligneuse et pérenne pour délimiter le niveau à pleins bords.

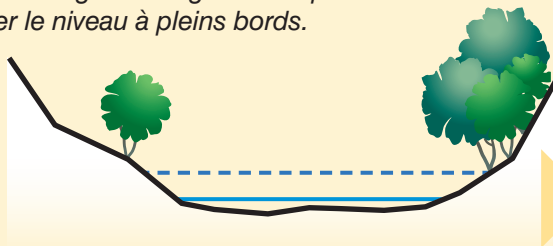


Figure 12 : Évaluation du niveau à pleins bords dans le cas d'une rivière à vallée encaissée.

F. Gob, CNRS-LGP



→→→ Lorsque la berge est rehaussée par des merlons de curage, on positionnera le niveau à pleins bords au sommet de ces merlons si ceux-ci occupent la totalité de la station. S'ils ne sont présents que localement, on le fera à la même hauteur que la plaine alluviale (sous le niveau maximum du merlon). On procédera de la même façon pour les enrochements et les protections de berge.



Figure 13 : Évaluation du niveau à pleins bords dans le cas d'une rehausse de la berge par des merlons de curage.

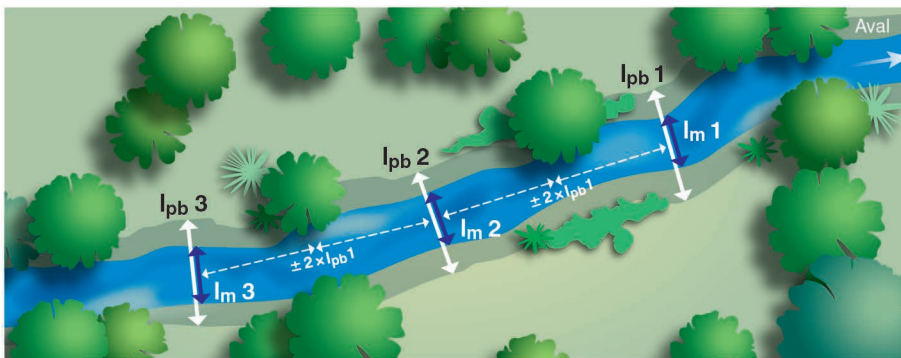
F. Gob, CNRS-LGP



### 3.3.2 – L'évaluation des largeurs mouillées

La largeur mouillée d'un cours d'eau correspond à la largeur de la lame d'eau au droit de la mesure.

Dans le cadre du protocole Carhyce, l'évaluation préalable de cette largeur mouillée ( $l_{m-ev}$ ) est nécessaire à la détermination de l'espacement inter-points sur les transects. Pour cela, trois mesures sont effectuées au niveau des trois transects utilisés pour déterminer les largeurs à pleins bords [figure 14]. La moyenne des trois mesures servira à déterminer l'espacement inter-points sur les transects.



$l_{pb}$  : largeur pleins bords  $l_m$  : largeur mouillée

Figure 14  
Positionnement des mesures préliminaires à effectuer pour une opération Carhyce.

Ces mesures sont à réaliser soit avec un ruban de mesure, soit à l'aide d'un télémètre, avec une précision de 10 %.

! Dans le cas de transects présentant des habitats de type sous-berge, la largeur de la lame d'eau s'arrêtera au niveau de la berge. La largeur mouillée renseignée ne doit être en aucun cas supérieure à la largeur à pleins bords.

### 3.3.3 – La longueur et le positionnement de la station

Selon les lois de l'hydromorphologie fluviale, la morphologie et les processus dynamiques sont corrélés à la largeur du cours d'eau, elle-même fonction du (des) débit(s) « morphogène(s) ».

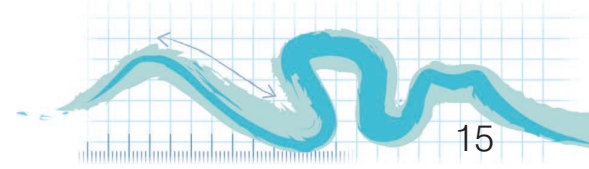
Une longueur de station équivalente à quatorze fois la largeur moyenne à pleins bords ( $l_{pb-ev}$ ) du cours d'eau peut être considérée comme représentative en termes de dynamique et de morphologie fluviale, et doit permettre de décrire au moins deux séquences de faciès de type radier/mouille/plat (si le cours d'eau n'est pas trop altéré).

Ainsi, dans le cadre du protocole Carhyce, la longueur de la station (L) est déterminée comme suit :

$$L = 14 \times l_{pb-ev}$$

À noter que cette longueur de station sera augmentée dans le cas où des transects seraient reportés à l'amont [cf. § 4.1.3].

Il est recommandé que la limite aval de la station, et par conséquent l'emplacement du premier transect, soit positionnée sur une tête de radier [cf. § 5.1.2].



# Le recueil des données sur les transects

# 4

## 4.1 – Le positionnement des transects

### 4.1.1 – Règle générale

Le protocole Carhyce est basé sur la description et la prise de mesures d'un cours d'eau au niveau de transects (tracé rectiligne transversal et perpendiculaire au cours d'eau).

Des études ont montré qu'il y a un nombre de transects minimum à réaliser pour pouvoir discriminer statistiquement différentes typologies de cours d'eau et gommer la variabilité inter-transects. Sur ces bases, il est proposé de réaliser les mesures et observations sur quinze transects.

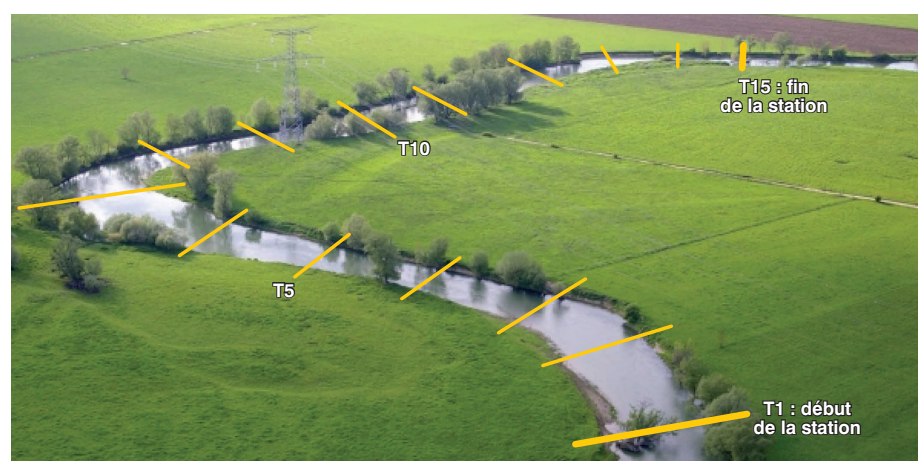
Ainsi, avec une longueur ( $L$ ) de quatorze fois la largeur à pleins bords moyenne ( $l_{pb-ev}$ ) et quinze transects [figure 15], chaque transect est espacé du précédent d'une distance égale à une fois la largeur à pleins bords moyenne ( $l_{pb-ev}$ ).

La fin de la station est alors située à la distance  $L$  à partir du premier transect placé à l'aval de la station. L'emplacement du dernier transect, à l'amont, peut être déterminé :

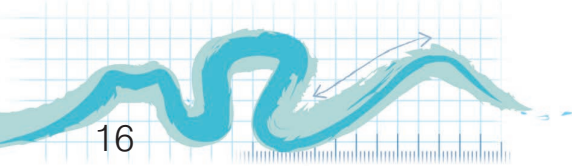
- soit au début de l'opération, en remontant le cours d'eau de la longueur  $L$  depuis le premier transect à l'aide d'un topofil ;
- soit à la fin du protocole, par reports successifs de la  $l_{pb-ev}$  jusqu'au quinzième transect. Cette seconde option n'est valable que si les distances inter-transects et les règles de décalage de transect décrites ci-dessous ont été précisément respectées.

A minima, deux ensembles de photos devront être pris : le chenal, la rive gauche et la rive droite seront photographiés à l'aval de la station d'une part (transect 1) et à l'amont d'autre part (transect 15).

Figure 15  
Exemple de positionnement  
des quinze transects  
sur une station Carhyce.



Thomas Schwab, AFB



### 4.1.2 – Règle du décalage

Dans certaines situations où la qualité des données pourrait être affectée, il est possible de décaler légèrement vers l'amont ou vers l'aval le transect à une distance maximale de 20 %  $l_{pb-ev}$  par rapport à son emplacement d'origine. Par exemple, cette règle peut s'appliquer lorsqu'une configuration particulière (embâcle, végétation gênante, etc.) ne peut être palliée par l'estimation des profondeurs [cf. § 4.3.5] ou lorsque la prise de mesure peut être affectée (Hpb au droit d'un tronc d'arbre, vestige d'aménagement, etc.). L'opérateur précisera les raisons du décalage. À noter que les transects suivants seront effectués à leur emplacement d'origine (i.e. on ne reporte pas le décalage).

### 4.1.3 – Règle du report

Si la règle de décalage fixée précédemment ne peut être appliquée (présence d'un pont, par exemple) alors il convient de reporter ce transect à l'amont de la station. Par exemple le transect n° 8 est annulé, un transect n° 16 sera effectué vers l'amont. Ainsi, il y aura toujours quinze transects comportant des mesures. Seuls trois transects maximum peuvent être reportés, au-delà de ce nombre, il convient de revoir le positionnement de la station.

Dans le cas d'un report d'un ou plusieurs transects, les bornes de la station évoluent également suivant ce report. Ainsi toutes les mesures dépendantes des bornes T1-T15 (longueur station, pente, etc.) sont à adapter à la nouvelle configuration de station (T1 à T16, T17, T18).

Lors de la saisie, le(s) transect(s) annulé(s) sera(ont) renseigné(s) dans l'application (début du transect, faciès et description des berges). La raison du report sera en outre précisée en remarque. Les transects reportés seront quant à eux saisis sur T16, T17, T18 en fonction du nombre de reports.

À noter qu'une identification préalable des transects en début d'opération, à partir du point aval retenu, permet de s'assurer de la possibilité ou non de réaliser le protocole dans la limite des trois reports autorisés.

**!** La règle générale prévaut. En effet les règles du décalage et du report doivent être utilisées de manière exceptionnelle pour ne pas dégrader la qualité des données. Le parcours préalable de la station [cf § 3.2] permettra de s'en assurer.

### 4.1.4 – Règle de la suppression

Si les règles précédentes ne peuvent être appliquées (station inaccessible au-delà du T15, modification significative de la typologie au-delà de T15, etc.) alors, en dernier recours, il est envisageable de supprimer un ou deux transects problématiques. Pour la saisie, les transects supprimés devront être identifiés dans l'application de la même manière que pour le report [cf § 4.1.3].

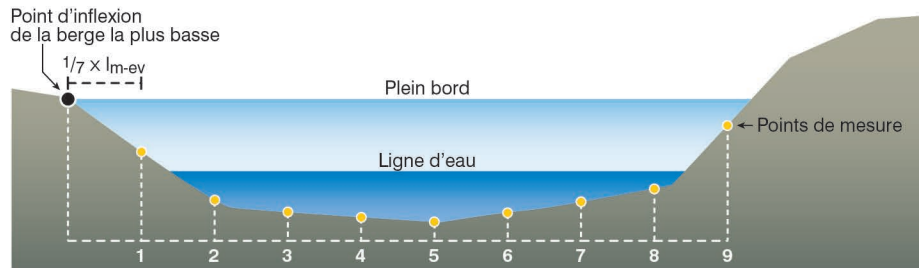
**!** Attention, le protocole requiert quinze transects pour conduire à une bonne évaluation ; en-deçà l'évaluation sera fortement dégradée voire impossible si moins de treize transects complets ont été réalisés.



## 4.2 – Le positionnement des points de mesure sur les transects

Sur chaque transect, des points de mesure sont effectués à intervalle régulier, à partir du sommet de la berge la plus basse et jusqu'à l'autre berge, sur l'ensemble de la largeur à pleins bords (avant de dépasser le niveau de la hauteur à pleins bords) [figure 16].

Figure 16  
Positionnement des points de mesure sur un transect.



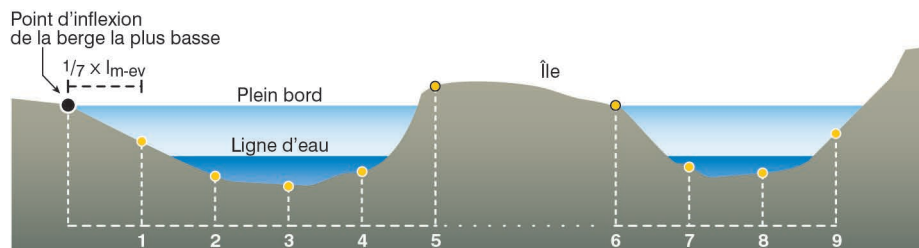
La distance inter-points est égale à  $1/7^{\text{ème}}$  de la largeur mouillée moyenne estimée préalablement ( $l_{m-ev}$ ), ceci afin d'obtenir en moyenne sept à huit points par transect au sein de la lame d'eau (utile pour les modélisations hydrauliques). Ce nombre de points en eau pourra être plus ou moins élevé selon la configuration du cours d'eau (rapport entre largeur mouillée et largeur à pleins bords).

**!** Comme mentionné précédemment, les points de mesure sont toujours décrits depuis la rive la plus basse (c'est-à-dire celle où la hauteur à pleins bords a été mesurée), et ce afin de simplifier l'analyse des données et les calculs hydrauliques.

Le positionnement des points se fait de manière systématique ; il est donc tout à fait normal qu'il n'y en ait pas sur la tranche lit mouillé - berge, par exemple.

La figure 17 ci-dessous illustre les mesures à effectuer pour dessiner la géométrie du lit en présence d'une île. Le point 5 est volontairement positionné au-dessus du niveau à pleins bords à la distance inter-points ( $1/7^{\text{ème}} \times l_{m-ev}$ ) du point précédent, qui, lui, est au-dessous du niveau à pleins bords. Le point 6 est quant à lui repositionné de l'autre côté de l'île, au niveau à pleins bords, et ce quel que soit la distance entre lui et le point 5. Lors de la saisie des données, l'île sera ainsi modélisée par une largeur fictive (car non mesurée sur le terrain), au-dessus du niveau à pleins bords, entre les points 5 et 6. L'ensemble permettra une meilleure prise en compte de la section des bras séparés par l'île, et notamment de l'influence des quatre berges.

Figure 17  
Positionnement des points de mesure sur un transect dans le cas d'une île.



## 4.3 – La géométrie du lit

### 4.3.1 – Les objectifs

#### ■ La largeur et la profondeur à pleins bords et le rapport entre les deux

Le rapport de la largeur ( $l$ ) sur la profondeur ( $p$ ) moyenne à pleins bords est une caractéristique géométrique intéressante à plusieurs titres.

D'un point de vue hydromorphologique, c'est un paramètre typologique indicateur de l'activité géodynamique d'un cours d'eau. Ainsi, les cours d'eau à dynamique plutôt active, caractérisés par des processus érosifs latéraux importants et des apports solides assez élevés, ont des rapports  $l/p$  plutôt forts (vingt ou plus). Les rivières en tresses ont souvent des rapports  $l/p$  proches de ou supérieurs à cent.

Le rapport  $l/p$  donne aussi des indications sur la cohésion des berges : plus celles-ci sont cohésives, plus les cours d'eau sont étroits et profonds. Inversement, si les berges sont peu cohésives, les cours d'eau ont tendance à être plus larges et moins profonds. On retrouve ici les mêmes tendances que celles liées à la présence de végétation rivulaire, les deux paramètres (végétalisation et cohésion) jouant dans le même sens en favorisant l'érosion verticale aux dépens de l'érosion latérale ou l'inverse.

Enfin, diverses références scientifiques<sup>4</sup> montrent des corrélations importantes entre le fonctionnement écologique d'un cours d'eau (par exemple la densité de poissons) et la valeur du rapport  $l/p$ .

#### ■ Le débit à pleins bords

Il est couramment admis que le débit à pleins bords d'un cours d'eau naturel en équilibre a une période de retour correspondant sensiblement à la crue journalière de fréquence 1,5 à 2,5 ans.

Le calcul, même sommaire, de ce débit au droit d'une station permet donc en théorie de détecter une éventuelle altération (ex. : recalibrage) si sa période de retour dépasse largement le  $Q_{2 \text{ ans}}$  (ex. :  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ).

#### ■ La puissance spécifique à pleins bords

La puissance spécifique à pleins bords<sup>5</sup> est un paramètre déterminant de la dynamique fluviale. Plus elle est élevée et plus le cours d'eau a la capacité d'éroder ses berges (en fonction de la cohésion de celles-ci) et à transporter des alluvions de tailles plus ou moins importantes.

Couplée aux caractéristiques du substrat et à l'hydrologie, elle permet aussi de déterminer la fréquence de mise en mouvement des sédiments et donc, la stabilité temporelle du substrat, élément important du fonctionnement écologique.

4 – Notamment Dunham et al., 2002.

5 – La puissance spécifique correspond sommairement au produit de la pente par le débit :

- la puissance ( $\Omega$ ) est calculée comme suit :  $\Omega = \gamma QJ$  (en watts/m).
- la puissance spécifique ( $\omega$ ) est calculée comme suit :  $\omega = \Omega / l$  (en watts/m<sup>2</sup>)

où  $\gamma$  est le poids volumique de l'eau (9810 N/m<sup>3</sup>),  $Q$  le débit (m<sup>3</sup>/s) (ici le débit journalier de crue de fréquence 2 ans),  $J$  la pente de la ligne d'énergie en m/m,  $l$  la largeur du lit pour le débit utilisé (m).

### ■ Les caractéristiques du lit mouillé

Les données géométriques du lit mouillé réalisées lors des mesures permettent :

- de caler les calculs hydrauliques pour obtenir des valeurs de vitesses pour le débit observé et de modéliser profondeurs et vitesses pour une gamme de débits supérieurs ou inférieurs au débit observé ;
- de donner une image « dynamique » des habitats en fonction du débit.

#### 4.3.2 – L'évaluation des largeurs à pleins bords

Sur chaque transect, la largeur du lit à « pleins bords » ( $l_{pb}$ , en mètres) est notée avec une précision de 5 % de la largeur à pleins bords évaluée  $l_{pb-ev}$ . Elle se mesure à l'aide d'un ruban de mesure ou d'un télémètre [pour plus de détails concernant cette mesure, cf. § 3.3.1].

#### 4.3.3 – L'évaluation des largeurs mouillées

Sur chaque transect, noter la largeur du lit mouillée ( $l_m$ , en mètres) avec une précision de 5 % de la largeur mouillée évaluée  $l_{m-ev}$ , à l'aide d'un ruban de mesure ou d'un télémètre [pour plus de détails concernant cette mesure, cf. § 3.3.2].

En présence d'îles, la largeur mouillée totale est donnée en additionnant les largeurs mouillées des chenaux en eau.

#### 4.3.4 – La hauteur à pleins bords

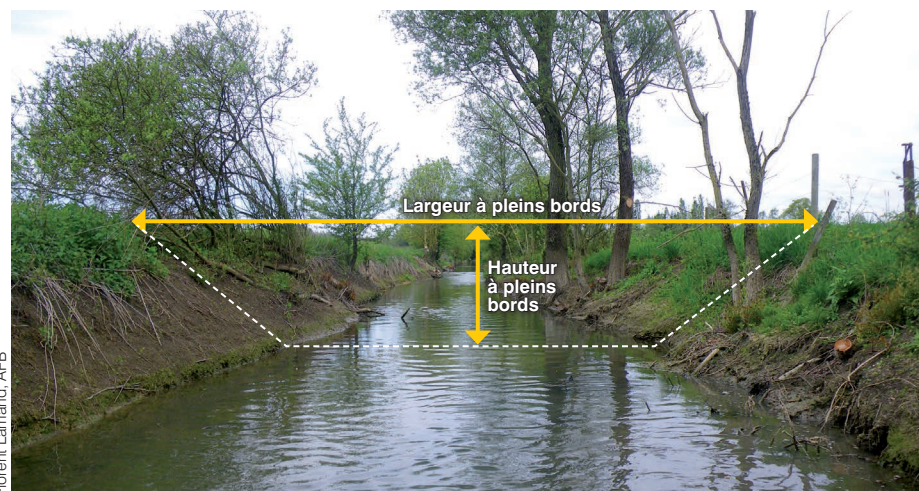
La hauteur à pleins bords correspond à la différence verticale entre le niveau du point d'inflexion de la berge la plus basse, permettant de passer du lit mineur au lit majeur, et le niveau de l'eau [figure 18].

Sur chaque transect, la hauteur à pleins bords ( $H_{pb}$  en mètres) est mesurée par rapport à la ligne d'eau, par exemple à l'aide d'une mire et d'un clinomètre, avec une précision centimétrique.

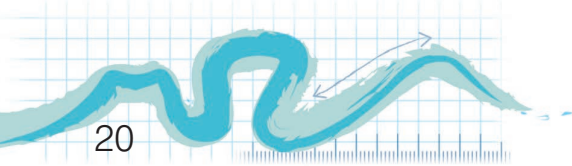
La berge la plus basse peut être identifiée visuellement si la différence est flagrante. Si la différence de hauteur entre les deux berges est difficilement appréciable visuellement, alors il faudra mesurer la hauteur des deux berges et retenir la valeur la plus basse.



Figure 18  
Illustration de la mesure de la hauteur à pleins bords.



Florent Lamand, AFB



### 4.3.5 – La profondeur

Sur chaque point de mesure du transect [cf. § 4.2], est mesurée la différence entre la ligne d'eau et le substrat.

Pour les points en eau (ligne d'eau au-dessus du substrat), cela se traduit par la mesure de la profondeur (en cm), à l'aide d'une mire et avec une précision centimétrique.

Sur les points « hors d'eau » (ligne d'eau au-dessous du substrat), les hauteurs (profondeurs négatives, en cm) sont notées par rapport à l'horizontale de la ligne d'eau, avec une précision centimétrique. La mesure se fait, par exemple, à l'aide d'une mire et d'un clinomètre ou d'un niveau à bulle.

Lorsqu'une partie d'un transect est inaccessible pour les opérateurs (profondeur trop importante, végétation dense et épineuse, etc.), il est alors possible d'estimer les profondeurs (négatives et positives) plutôt que de décaler ou reporter le transect. En effet, la perte d'information due au décalage ou report d'un transect est plus néfaste que la perte de précision due à l'estimation. À noter que l'estimation doit être utilisée de façon exceptionnelle et qu'il convient, avant tout, de bien positionner la station et choisir une période adéquate de réalisation du protocole [cf. § 1.1]. Concernant la saisie, il conviendra dans l'espace « remarque » du transect concerné d'identifier ces points et de préciser la raison de l'estimation, le cas échéant.

**!** Les points hors d'eau sont toujours notés en nombres négatifs.

Remarque : pour les chenaux multiples, le niveau d'eau de référence sera celui du chenal principal.

La figure 19 ci-dessous synthétise les mesures à effectuer pour dessiner la géométrie du lit au niveau d'un transect.

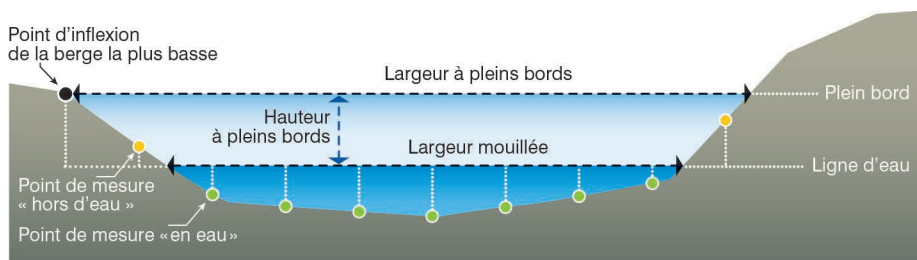


Figure 19  
Géométrie du lit  
au niveau d'un transect.

**!** La notion de « hauteur à pleins bords » utilisée dans le cadre de ce protocole n'est pas celle utilisée usuellement en hydromorphologie [cf. § 4.3.1 « Profondeur à plein bords »]. Pour obtenir cette dernière, il s'agit d'additionner la « hauteur à pleins bords » mesurée dans le cadre du protocole et la moyenne des profondeurs en eau du transect.





## 4.4 – Le substrat minéral

### ■ Les objectifs

Les mesures granulométriques sur les transects permettent de répondre à plusieurs objectifs. Elles fournissent tout d’abord un élément complémentaire pour l’étude de la typologie du cours d’eau. De plus, l’indice de diversité granulométrique (i.e. le nombre de classes de granulométrie présentes) permet d’évaluer le transport suffisant des sédiments<sup>6</sup>.

Ces mesures permettent également d’évaluer la rugosité granulométrique du lit, paramètre qui rentre en compte dans les modélisations hydrauliques.

Enfin, support de la biologie, elles donnent une indication « d’habitat ».

### ■ Le protocole et le niveau de précision

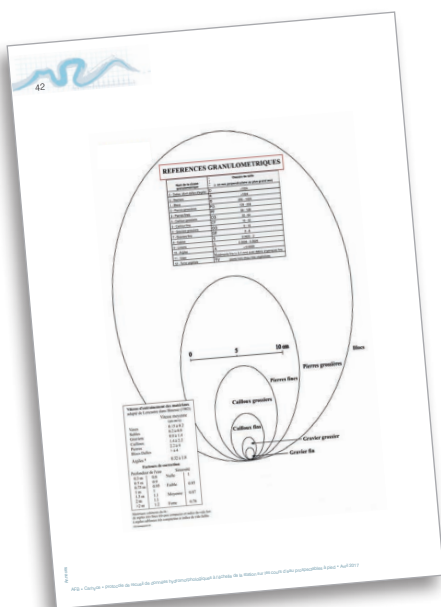
Sur chaque point de mesure du transect [cf. § 4.2], un élément du substrat sera recueilli tant en lit mouillé que sur les points exondés. L’élément sera relevé en pointant avec une mire au droit du point de mesure, pour éviter le biais classique de choisir instinctivement le plus grossier.

Chaque élément minéral est classé dans une catégorie de Wentworth modifiée [tableau 2], au moyen d’un gabarit [cf. Annexe 1] ou d’une mesure directe à l’aide d’un mètre ou d’un pied à coulisse. Dans ce dernier cas, c’est la perpendiculaire au plus grand axe qui est alors mesurée [cf. § 5.3.2].

Tableau 2  
Échelle granulométrique de Wentworth modifiée.

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d’argile)	Plus de 1 024 mm	D
Rochers	Plus de 1 024 mm	R
Blocs	256 à 1 024 mm	B
Pierres grossières	128 à 256 mm	PG
Pierres fines	64 à 128 mm	PF
Cailloux grossiers	32 à 64 mm	CG
Cailloux fins	16 à 32 mm	CF
Graviers grossiers	8 à 16 mm	GG
Graviers fins	2 à 8 mm	GF
Sables	0,0625 à 2 mm	S
Limons	0,0039 à 0,0625 mm	L
Argiles	Moins de 0,0039 mm	A
Vase	Sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques	V
Terre végétale	Points hors d’eau très végétalisés	TV

**!** L’objectif est de décrire la granulométrie sédimentaire et non pas la nature géologique du substrat. Ainsi les dalles d’argile sont renseignées dans la classe D et les dépôts argileux dans la classe A. De plus, en cas de point hors d’eau très végétalisé, la classe *Terre végétale* (TV) est renseignée, sans chercher à déterminer la granulométrie sous-jacente.



On trouvera en Annexe 2 un gabarit à imprimer (en respectant l’échelle).

6 – Pour plus d’information, voir Malavoi et al., 2011.

## 4.5 – Le support ou substrat additionnel

### ■ Les objectifs

Bien que la morphologie d'une station soit principalement décrite par ses caractéristiques strictement physiques, un nombre non négligeable de supports disponibles pour la faune aquatique est généré par des processus biologiques ou chimiques.

Ainsi, la présence de certains supports, organiques ou non organiques, peut fortement influencer la structure et la diversité de la communauté aquatique d'une station. Leur description fournit une aide pertinente à l'interprétation de la biologie.

### ■ Le protocole et le niveau de précision

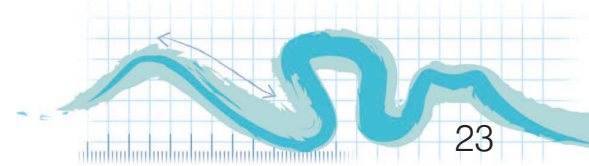
Sur chaque point de mesure du transect [cf. § 4.2], la présence de substrat additionnel est précisée, et ce en plus de la granulométrie [cf. § 4.4].

Pour être prise en compte, la surface minimale d'un substrat au droit de la mire, doit au moins être égale à 0,02 m<sup>2</sup> (soit une surface de 20 cm x 10 cm ou un peu moins d'un format A5).

Les éléments ainsi observés sont décrits en utilisant la typologie suivante en six classes (plusieurs choix possibles) :

Classe de substrat additionnel	Code
Chevelu racinaire	CR
Végétation surplombante	VS
Débris ligneux grossiers, embâcle	DL
Végétation aquatique	VA
Pool détritique : accumulation de matière organique particulaire grossière (feuilles mortes, écorce, autres débris végétaux)	PD
Concrétion calcaire	CC





## 4.6 – La caractérisation de la zone riparienne

### 4.6.1 – Les berges

#### ■ Les objectifs

La nature des matériaux qui constituent une berge peut être déterminante en termes d'érosion et de mobilité du lit, lorsque des aménagements ont été réalisés. En outre, certains habitats importants peuvent se développer en pied de berge et influencer les communautés en place.

#### ■ Le protocole et le niveau de précision

Au droit de chaque transect, les berges des deux rives (RD et RG) sont décrites en indiquant la nature des matériaux les plus représentatifs qui les constituent, ceci en utilisant la typologie suivante (un seul choix possible) :

Types de berges	Code
Matériaux naturels	MN
Aménagement végétalisé	AV
Enrochement	ER
Matériaux artificiels	MA

En outre, à leurs abords immédiats, la présence de certains habitats caractéristiques est également notée et ce, quelle que soit leur abondance (plusieurs choix possibles) :

Types d'habitats	Code
Sous-berge	SB
Chevelu racinaire	CR
Végétation surplombante	VS
Blocs rocheux	BR
Débris ligneux grossiers, embâcle	DL

→ **Corridor rivulaire** : bande de végétation naturelle située le long d'un cours d'eau, et qui se différencie de la matrice environnante, comprenant la berge, la plaine d'inondation et une partie des terrasses alluviales.

→ **Ripsisylve** : formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones). Elle est constituée de peuplements particuliers du fait de la présence d'eau pendant des périodes plus ou moins longues (saules, aulnes, frênes en bordure, érables et ormes plus en hauteur, chênes pédonculés, charmes sur le haut des berges).

Voir [www.glossaire.eaufrance.fr](http://www.glossaire.eaufrance.fr)

7 – Naiman et al., 2005.

8 – Peterjohn and Correll, 1984 ; Paul and Meyer, 2001.

9 – Lâchât, 1991.

10 – Harmon et al., 1986 ; Maridet and Souchon, 1995.

11 – Maridet, 1994.

### 4.6.2 – Le corridor rivulaire et la ripisylve

#### ■ Les objectifs

Situé à l'interface entre les milieux aquatiques et terrestres, en bordure immédiate du cours d'eau, le *corridor rivulaire* contribue de manière très importante à la préservation de la qualité et de la biodiversité aquatique<sup>7</sup>. Il présente, sur une large bande de terrain, une végétation ou « ripisylve » qui interagit avec la rivière.

Influençant les facteurs biogéochimiques, la ripisylve intervient notamment dans la rétention des apports latéraux, d'origines agricoles et urbaines, issus des bassins versants<sup>8</sup>.

Elle est un facteur de contrôle de la dynamique fluviale<sup>9</sup> contribuant à la structuration et la diversification de l'habitat des communautés biologiques, par exemple par la stabilisation des berges, l'approfondissement du chenal ou l'apport de matériaux<sup>10</sup>. En outre, elle constitue un élément clé de la régulation thermique (ombrage) et trophique (apport de matière organique allochtone : bois mort, feuilles, etc.) du cours d'eau<sup>11</sup>.

## ■ Le protocole et le niveau de précision

La végétation rivulaire est décrite pour chaque transect, séparément, pour chacune des rives (gauche, droite). Au droit de chaque transect, la berge est considérée sur une longueur d'une fois la largeur à pleins bords centrée sur le transect (soit  $1/2 l_{pb}$  de part et d'autre du transect). De proche en proche, on décrit donc ainsi la végétation sur la totalité de la longueur de la station et sur les deux rives.

Les données sont donc acquises depuis le pied de berge vers la plaine alluviale.

### ► Structure de la végétation

La stratification verticale de la végétation est décrite en renseignant l'absence ou la présence de différents niveaux en s'appuyant sur la typologie suivante :

**Strate arborée** (arbres) :  
végétaux d'une hauteur supérieure ou égale à 7 m

**Strate arbustive** (arbustes et buissons) :  
végétaux d'une hauteur comprise entre 2 et 7 m

**Strate herbacée** :  
végétaux d'une hauteur inférieure à 2 m



Une absence de végétation est relevée si aucune de ces trois strates n'est présente.

Figure 20  
Stratification verticale  
de la végétation

### ► Épaisseur des strates

L'épaisseur de chacune de ces strates est relevée pour toute végétation continue débutant dans l'espace situé du pied jusqu'au bord de berge compris. Pour la renseigner, est considérée donc, toute végétation continue, perpendiculairement à la berge, relevée selon la typologie suivante :

- entre 0 et 5 m,
- entre 5 et 10 m,
- entre 10 et 25 m,
- supérieure à 25 m.

### ► Caractérisation du type de végétation

Enfin, pour chaque strate, le type de végétation est renseigné. Plusieurs choix sont possibles parmi :

- végétation naturelle de la zone biogéographique (autochtone) ;
- végétation exogène ou exotique (ex. : renouée du Japon, berce du Caucase, mimosa, etc.) ;
- végétation plantée (ex. : peupleraie, sapinière, etc.).

### ► Strate la plus recouvrante au sein de la ripisylve

La ripisylve est ici considérée sous l'angle des compartiments les plus structurants sur le milieu physique et les biocénoses : strates arborée et arbustive.

Aussi, parmi les strates arborée et arbustive, la strate la plus recouvrante est relevée. Il s'agit de celle qui occupe la surface projetée au sol la plus importante ; c'est-à-dire, celle dont le recouvrement végétal, feuillage et canopée compris, est le plus important.

Lorsque les strates arborée et arbustive présentent un même recouvrement apparent, la strate arborée, la plus haute et la plus structurante, est considérée comme la plus recouvrante.

## 4.7 – Les faciès

### ■ Les objectifs

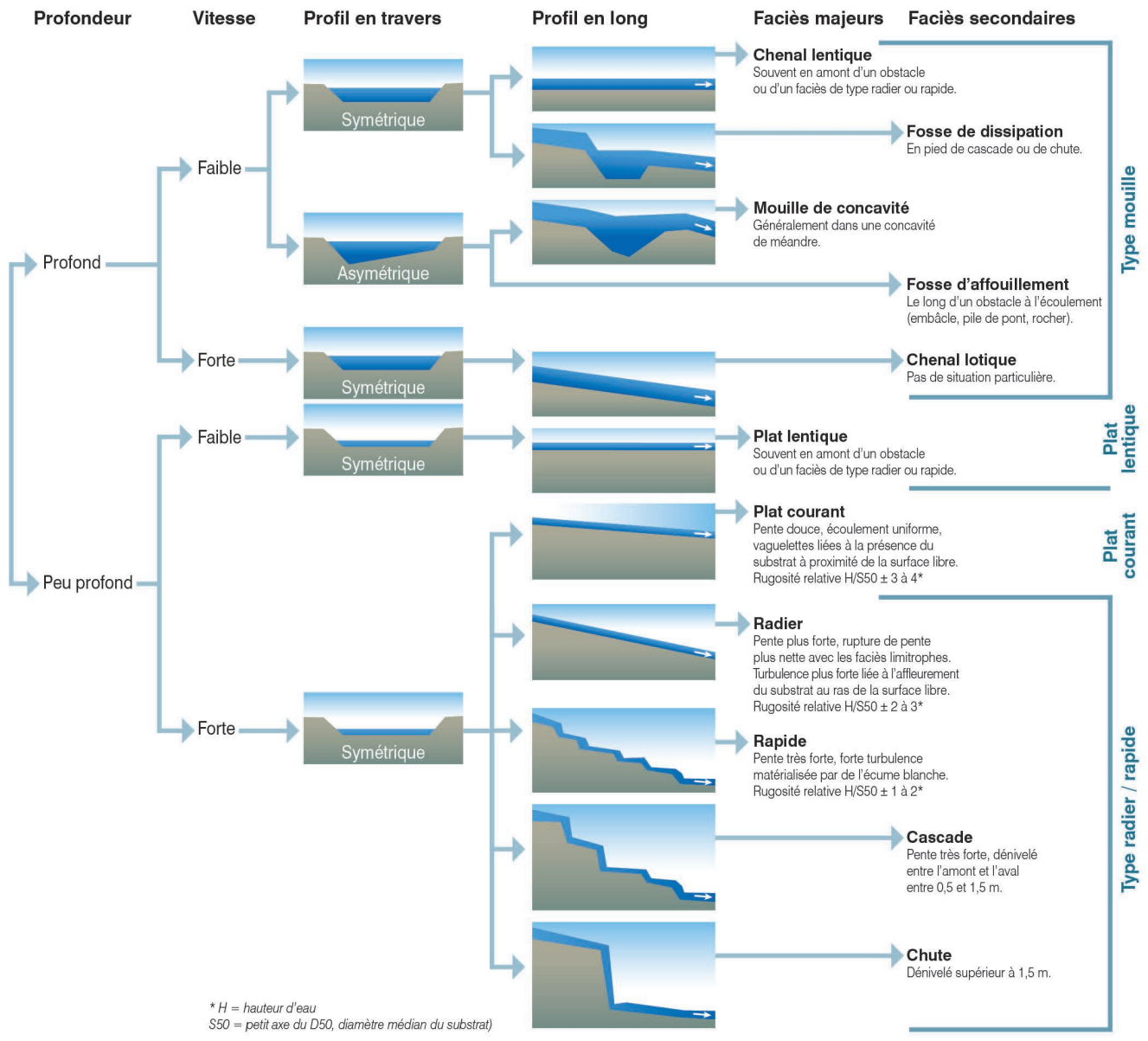
Ce sont des macro-descripteurs des habitats aquatiques. Leur type et leur hétérogénéité fournissent une aide pertinente à l'interprétation de la biologie. Ils peuvent aussi être indicateurs d'un certain niveau de dysfonctionnement hydromorphologique.

### ■ Le protocole et le niveau de précision

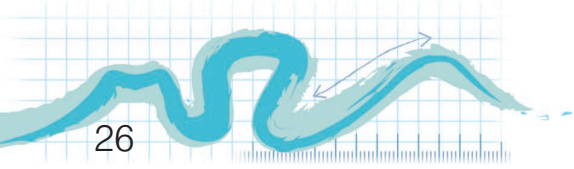
Les faciès sont identifiés sur la base de la typologie Malavoi et Souchon 2002 [figure 21].

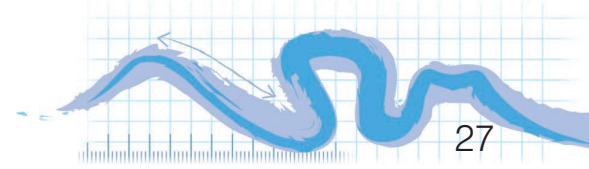
Pour chaque transect, noter le faciès dominant suivant son appartenance à l'un des quatre types de faciès simplifiés puis l'un des onze types de faciès majeurs et secondaires.

Figure 21  
Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement  
D'après Malavoi & Souchon, 2002.



\* H = hauteur d'eau  
S50 = petit axe du D50, diamètre médian du substrat)





# Le recueil de données représentatives de la station

## 5

### 5.1 – La pente de la ligne d'eau

#### 5.1.1 – L'objectif de la mesure

La pente d'un cours d'eau est l'un des paramètres hydromorphologiques majeurs, utile notamment pour la modélisation hydraulique des écoulements. Couplée au débit, elle permet de calculer la puissance de l'écoulement (généralement pour le plein bord).

#### 5.1.2 – Le protocole et le niveau de précision attendue

La mesure de la pente de la ligne d'eau consiste à déterminer la différence d'altitude entre le niveau d'eau à l'aval et le niveau d'eau à l'amont de la station ( $\Delta H$ ), le tout rapporté à la longueur de la station ( $L$ ).

Sur le terrain, la pente de la ligne d'eau peut être mesurée au moyen d'un niveau de chantier pour réaliser l'ensemble des visées, et d'une mire à bulle, positionnée à la surface de l'eau (en berge ou au centre du chenal si les écoulements le permettent).

Les mesures de pentes sont réalisées entre le premier transect (T1, début de station) et le dernier transect (T15, fin de station) avec au moins quatre visées intermédiaires dans le cours d'eau, le transect T1 se situant en tête de radier.



Pour toute modélisation hydraulique, il convient généralement que le dernier (T15) et le premier (T1) point de mesure se fassent sur un faciès identique. Idéalement ces mesures devraient porter sur des points hauts comme des têtes de radier.

Toutefois, pour permettre la mise en œuvre standardisée du protocole dans un maximum de contexte (le dernier transect T15, et parfois le T1, ne correspondent pas toujours à des points hauts), il est demandé de réaliser des visées intermédiaires qui permettent, lors du calcul final, de lisser les écarts de mesures.

Dans le cas de cours d'eau rectilignes et/ou sans végétation rivulaire, il est possible de ne pas déplacer le niveau pour effectuer l'ensemble des visées. Les points de mesure intermédiaires sont réalisés sur des ruptures de pente significatives ou sur des changements de faciès. Pour chaque visée, on mesure alors la cote de la ligne d'eau et la distance (longueur développée du cours d'eau) depuis le premier point de mesure.

Dans le cas de rivières à méandres ou bien s'il y a présence de végétation importante, le niveau de chantier doit être déplacé pour pouvoir effectuer les visées. Il est préférable de le décaler au gré de l'avancée dans le cours autant de fois que nécessaire. Pour chaque visée, on mesurera également la cote de la ligne d'eau et la distance (longueur développée du cours d'eau) depuis le premier point de mesure.

Il est préférable autant que possible d'effectuer les mesures de l'aval vers l'amont de la station, pour s'affranchir de données négatives. Dans cette configuration, les lectures qui se font à l'inverse du sens de cheminement (visées 1, 2, 4 et 5 [figure 22]) sont appelées « lecture aval » (ou parfois « lecture arrière »), celle qui se font dans le sens de cheminement sont appelées « lecture amont » (ou parfois « lecture avant ») (visées 3 et 6 [figure 22]).

La différence d'altitude totale ( $\Delta H$ ) est obtenue par l'addition des différents dénivelés mesurés entre les visées.

La pente de la ligne d'eau pour la station sera ensuite calculée en tenant compte de l'ensemble des points de mesure (y compris les visées intermédiaires). Elle correspond à la pente de la droite de régression (coefficient « a » de l'équation «  $y = ax + b$  ») passant par le nuage de points de mesure. Ainsi, par exemple, pour une équation «  $y = 0,0042x + 0,0694$  », la pente sera de 4,2 ‰.

! Cette mesure, une des plus importantes du protocole, est à relever avec une grande précision. La précision de la mesure sera de l'ordre de 0.1 ‰, soit une erreur acceptable de 1 cm sur une station de 100 m.

Aussi, la distance entre chaque point doit être mesurée le plus précisément possible, en suivant au mieux le tracé du cours d'eau, par exemple à l'aide du topofil.

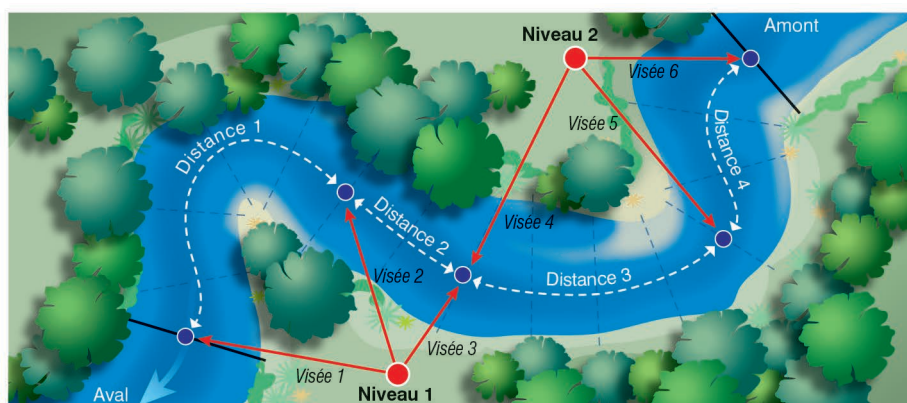
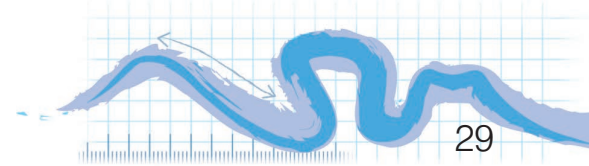


Figure 22  
Vue en plan et profil en long des mesures effectuées pour calculer la pente de la ligne d'eau.





## 5.2 – Le débit

### 5.2.1 – L'objectif de la mesure

Les travaux de Leopold & Maddock (1953) et Hey & Thorne (1986) ont permis de démontrer les fortes corrélations existant entre le débit entrant dans un cours d'eau et les caractéristiques géométriques de celui-ci en un point donné.

Les équations de géométrie hydraulique sont ainsi basées sur ces corrélations sous la forme suivante :

$$y = aQ^b$$

où  $y$  est une dimension du tronçon (largeur, profondeur),  $Q$  est le débit liquide et  $a$ ,  $b$  sont des constantes d'ajustement de la loi aux données de terrain.

! Cette mesure, une des plus importantes du protocole, est à relever avec une grande précision.

### 5.2.2 – Le choix de la méthode de mesure

Le choix de la méthode de mesure de débit doit être adapté aux écoulements présents sur la station ou à proximité et doit suivre les préconisations du « *Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires - Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement* »<sup>12</sup>.

Sur les stations (ou à proximité immédiate) présentant des sections à écoulements laminaires (c'est-à-dire non turbulents), il est préconisé, dans le cadre de ce protocole, d'utiliser la méthode par exploration du champ de vitesses. Celle-ci, présentée ci-après, nécessite l'utilisation d'un moulinet, d'un courantomètre ou d'un débitmètre. En tous les cas, il sera important de bien vérifier la cohérence du paramétrage à la méthode employée.

### 5.2.3 – La mesure du débit par extrapolation des champs de vitesses

#### ■ Le choix de la section de mesure

La section de mesure doit, si possible, être rectiligne sur une distance d'au moins deux fois sa largeur à l'amont de la section de mesure et une fois sa largeur à l'aval.

Comme mentionné précédemment, elle doit présenter des écoulements laminaires. Elle doit être dégagée de tout obstacle générant des perturbations de l'écoulement. Il en va de même pour l'amont de la section de mesure, sur une distance d'au moins deux fois sa largeur, ainsi que pour l'aval, sur une fois sa largeur. Elle doit par ailleurs ne compter qu'un seul bras.

Une fois la section de mesure choisie, elle est matérialisée par un ruban métré.

! Dans certains cas, il peut être nécessaire, avant de commencer la mesure, de réaliser des petits travaux d'aménagement et d'enlever, par exemple, la végétation aquatique afin de se rapprocher au maximum des conditions optimales.



12 – « Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires - Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement ». Onema - Cemagref (2011).

## Le choix du nombre de verticales

Le nombre et la position des verticales dépendent de la géométrie du profil en travers et des conditions d'écoulement.

Il est recommandé de réaliser au moins dix verticales de mesures. Elles doivent être réparties de manière à faire ressortir d'éventuelles variations dans le profil en travers du cours d'eau (trous par exemple) ou dans les vitesses d'écoulement [figure 23]. Si le fond est homogène, les verticales seront équidistantes.

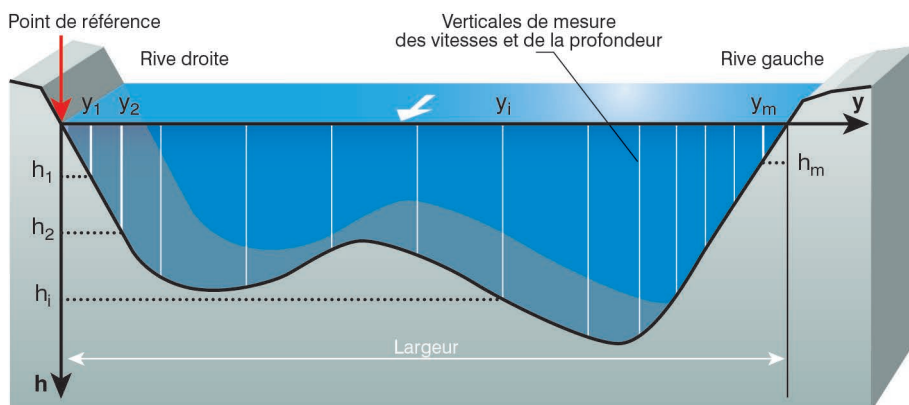


Figure 23  
Exemple de répartition de verticales en fonction des variations du profil en travers.

## Le nombre de points de mesure par verticale

Pour chaque verticale, le nombre de points de mesure de vitesses à effectuer est déterminé en fonction de la hauteur d'eau.

Dans le cadre de ce protocole, il est conseillé de se référer à l'abaque ci-après [figure 24]. La première mesure de vitesse s'effectue en partant du fond, puis les suivantes vers la surface.

Le temps de mesure préconisé est de 30 s.

Hauteur d'eau sur la verticale de mesure	Mesures à effectuer par rapport au fond
Si $h < 10$ cm	0,4 x h
Si $10 \leq h < 20$ cm	0,2 x h et 0,8 x h
Si $h \geq 20$ cm	0,2 x h, 0,4 x h et 0,8 x h

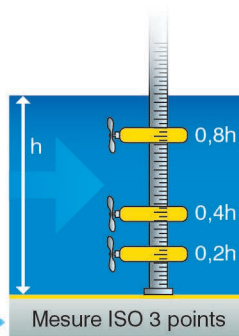


Figure 24  
À gauche : abaque indiquant le nombre minimal de points de mesure par verticale.  
À droite : hauteur du capteur depuis le fond.

! Comme pour l'ensemble du protocole [cf. § 1.2], le régime hydraulique doit être permanent (débit constant) pendant toute la durée de la mesure.  
Ne pas prendre de mesure dans les contre-courants (ou mettre la valeur 0).  
L'appareil doit être orienté face au courant et conserver une position horizontale stable pendant toute la durée de la mesure.  
La perche doit être maintenue rigoureusement en position verticale.  
Ne pas hésiter à réaliser des verticales supplémentaires pour les sections très larges ou qui présentent une topographie complexe (jusqu'à quinze verticales, si nécessaire).

## 5.3 – La typologie et la dynamique sédimentaire

### 5.3.1 – L’objectif de la mesure

Les radiers sont les zones de dépôt de la fraction la plus grossière de la charge alluviale de fond en transit. La mesure de la granulométrie des radiers présente un double intérêt :

- intérêt « typologique » : elle permet de classer un cours d’eau selon son type « granulométrique » (cours d’eau à radiers à blocs, radiers à galets, radiers à sables, etc.) ;
- intérêt en termes de connaissance des processus de mobilisation du substrat alluvial. Couplée à la puissance spécifique, elle permet de connaître la fréquence minimale de mise en mouvement des matériaux du lit, habitats importants des biocénoses aquatiques et siège de processus biogéochimiques.

### 5.3.2 – Le protocole et le niveau de précision attendue : la méthode Wolman

Sur la station Carhyce, le radier présentant la fraction de granulométrie la plus grossière est identifié visuellement.

▶▶▶ *En l’absence de radier, un plat courant sera ciblé. S’il n’y a ni radier ni plat courant sur la station, cet atelier ne sera pas réalisé.*

Cent éléments sont prélevés sur le radier identifié, en appliquant un échantillonnage de type systématique : dix traversées équidistantes sont réalisées de la tête au pied du radier, de sorte à couvrir l’ensemble du faciès. Sur ces traversées, un élément est prélevé tous les 1/10 de la largeur mouillée.

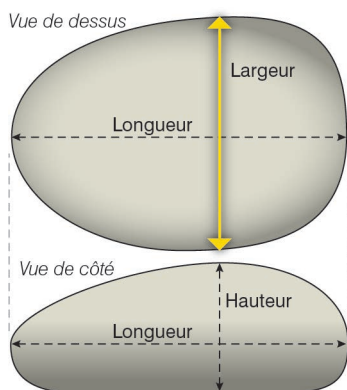
▶▶▶ *La distance minimale à respecter entre deux éléments de granulométrie correspond à la taille de la granulométrie mobile naturelle la plus grossière du radier.*

Au fur et à mesure des prélèvements, la plus grande largeur perpendiculaire au plus grand axe de chaque élément de granulométrie est mesurée à l’aide de tout instrument permettant une précision millimétrique, et notée sur la feuille de terrain en millimètres [figure 25].

Figure 25  
Mesure de la plus grande largeur perpendiculaire d’un caillou au pied à coulisse en suivant le protocole Wolman.



Boutet-Berry, AFB

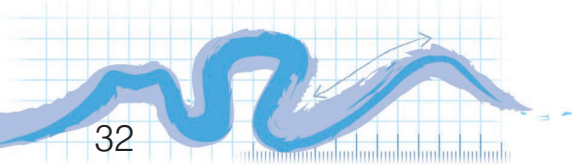


! En cas de radier de très petite taille, seuls cinquante éléments sont prélevés et mesurés.

En cas de présence de dalle, non mobilisable, un autre élément sera prélevé à la place.

En cas de cours d’eau présentant des concrétions calcaires, et s’il s’agit d’une dalle, cet atelier ne sera pas réalisé (ne pas arracher les éléments). Les nodules, eux, peuvent en revanche être mesurés.

Si un élément prélevé s’avère être du sable, noter par défaut une dimension de 0.5 millimètres.



## 5.4 – Les habitats marginaux

Si des substrats non minéraux marginaux particulièrement biogènes sont présents sur la station mais ne sont recensés sur aucun des transects, ceux-ci sont renseignés dans la partie « habitats marginaux » en utilisant la même typologie que celle des supports et substrats non minéraux présentée au paragraphe 4.5.

## 5.5 – La continuité de la ripisylve

La continuité longitudinale de la ripisylve sur chaque rive est décrite en observant l'ensemble de la station et en utilisant la typologie suivante [figure 26].

Seules les strates arborées et arbustives sont considérées pour cette évaluation. Cette description peut être réalisée préalablement à la phase de terrain, après exploitation de supports cartographiques. L'observation de terrain vient alors confirmer ou non ces analyses.

		G	D
Absence		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semi-continue		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Continue		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 26  
Typologie décrivant  
la continuité de la ripisylve  
dans Carhyce.

## 5.6 – Le colmatage

### 5.6.1 – L'objectif de la mesure

Le sédiment formant le lit des cours d'eau constitue un habitat (le milieu interstitiel ou hyporhéique) particulièrement sensible aux pressions hydromorphologiques.

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<sup>13</sup>. Il entraîne une modification des habitats, de la structure et de la stabilité du substrat, ainsi que des échanges d'eau, de matières et d'oxygène entre la surface et l'hyporhéique, conduisant à l'apparition de processus anaérobies<sup>14</sup>. Ces modifications du fonctionnement physique, chimique et microbiologique des sédiments affectent la survie des macro-organismes. Il est donc fondamental de pouvoir apprécier cet impact hydromorphologique sur la qualité des sédiments des cours d'eau.

### 5.6.2 – Le protocole et le niveau de précision attendue

Il est possible d'appréhender l'intensité du colmatage du lit des cours d'eau en évaluant la profondeur d'oxygénation du substrat via le développement de bactéries sulfo-réductrices sur des supports en bois<sup>15</sup>.

13 – Vaneck, 1997.

14 – Bou 1977, Brunke 1999.

15 – Marmonier et al., 2004.

Cette méthode consiste à implanter dans les sédiments des substrats artificiels en bois pour une durée d'un mois. Au contact des zones désoxygénées, ces substrats artificiels changent de couleur, passant du brun jaunâtre au noir. Ce changement de couleur est lié aux activités microbiennes stimulées par le substrat carboné. La couleur noire est sans doute attribuable à un dépôt de sels de manganèse. Cette méthode offre donc une mesure intégrative et fonctionnelle des conditions d'oxygénation du milieu.

Les substrats artificiels sont des carrelets de bois clair (pin ou sapin non traité), de 8 x 8 mm et d'une longueur de 30 cm [figure 27]. Un trou est percé à 1 cm de l'extrémité supérieure du piquet afin d'y attacher un fil électrique gainé de plastique coloré qui permettra d'identifier la position des substrats immergés.

Figure 27  
Substrats artificiels avant implantation.



Boutet Berry, AFB

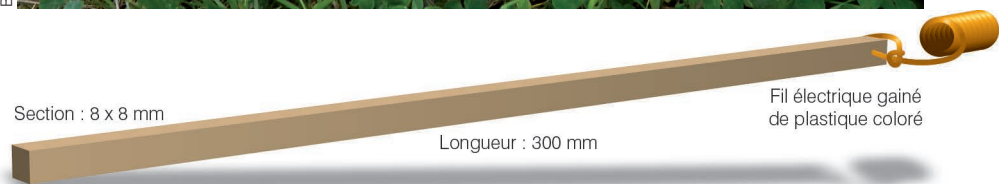
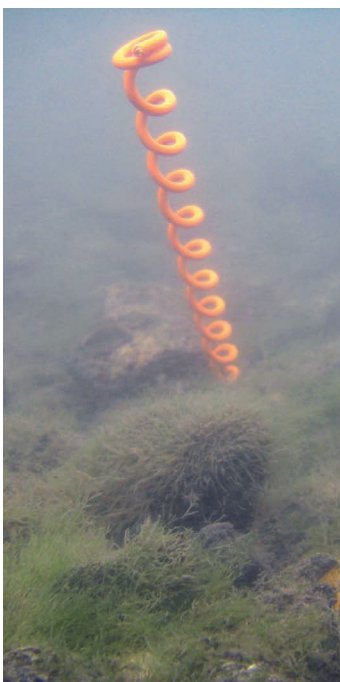


Figure 28  
Substrat artificiel en place



Boutet Berry, AFB

Après avoir repéré deux radiers (ou plats courants) sur la station, quatre répliqués sont installés sur la tête de chacun d'entre eux, transversalement par rapport à l'écoulement. Si un seul radier (ou plat courant) est disponible, la manipulation n'est réalisée qu'une seule fois, au niveau de celui-ci.

Les substrats artificiels sont mis en place directement à la main dans les ruisseaux à fond sableux, ou après avoir implanté une barre à mine dans les sédiments plus grossiers. La profondeur du trou doit être d'environ trente centimètres, de façon à ce que l'extrémité supérieure du piquet affleure au niveau du substrat [figure 28].

Un mois après l'installation de ces dispositifs expérimentaux, une deuxième visite de terrain est pratiquée par les opérateurs afin de les récupérer. Lors de leur retrait, la longueur entre le sommet du piquet (partie affleurant l'eau) et la première zone de noircissement (même ponctuelle) d'une des quatre faces est mesurée en centimètres (précision millimétrique) avec un double-décimètre.

Le passage de la couleur claire au noir renseigne sur la profondeur à partir de laquelle le milieu devient anoxique. Par exemple, pour un substrat totalement colmaté, la zone de noircissement sera rencontrée dès le sommet du bâton (profondeur mesurée = 0,0 cm) ; à l'inverse, pour un substrat totalement poreux, il n'y aura aucune zone de noircissement (profondeur mesurée = 30,0 cm).

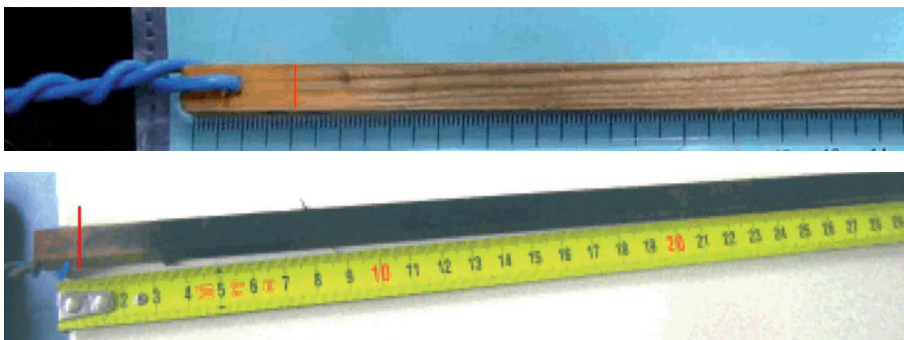
! La lecture doit se faire immédiatement sur le terrain car la couleur s'estompe quand le biofilm sèche. Par précaution et dans le cas d'une mesure plus tardive, la zone de changement de couleur sera surlignée sur le piquet à l'aide d'un crayon de papier.

Il est important de repérer le plus précisément possible l'endroit où le substrat artificiel a été placé pour pouvoir le retrouver un mois plus tard. Il est conseillé de prendre une photographie de l'aire de travail en incluant la berge la plus proche.

### 5.6.3 – Aide à la lecture des bâtonnets

#### ► L'intensité de la coloration

Toute altération de couleur du bâtonnet, qu'elle soit légère (gris clair) ou conséquente (gris foncé à noir) est considérée comme une marque induite par le colmatage du substrat [figure 29].



Dir. interrég. Normandie-Hauts-de-France, AFB

Figure 29  
Illustration des différentes intensités de coloration que peut présenter un bâtonnet. En haut : coloration « légère » ; en bas : coloration « marquée ».

Si un bâton est fortement coloré sur le bas et dans une moindre mesure sur la partie haute (ou inversement), peu importe l'intensité de la coloration. C'est la tache du haut, la plus pénalisante, qui sera prise en compte pour la mesure [figure 30].



DIRNH, AFB

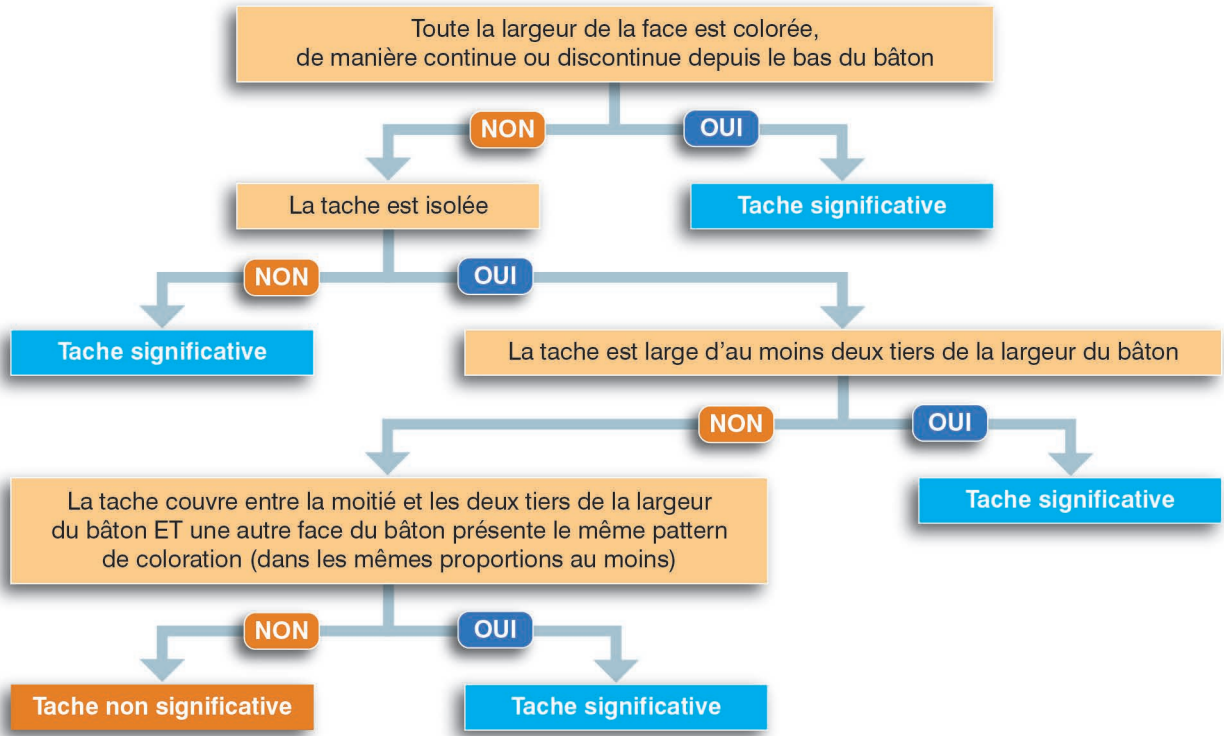
Figure 30  
Cas d'un bâtonnet qui présente une coloration « mixte ».

#### ► L'ampleur de la tache colorée

Seule une tache (peu importe sa couleur, cf. paragraphe précédent) considérée comme significative sera prise en compte pour la mesure de profondeur d'oxygénation. La clé dichotomique présentée page suivante [figure 31] permet de juger de cette significativité.

Enfin, la figure 32 [page suivante] illustre les différents cas de taches significatives rencontrés.

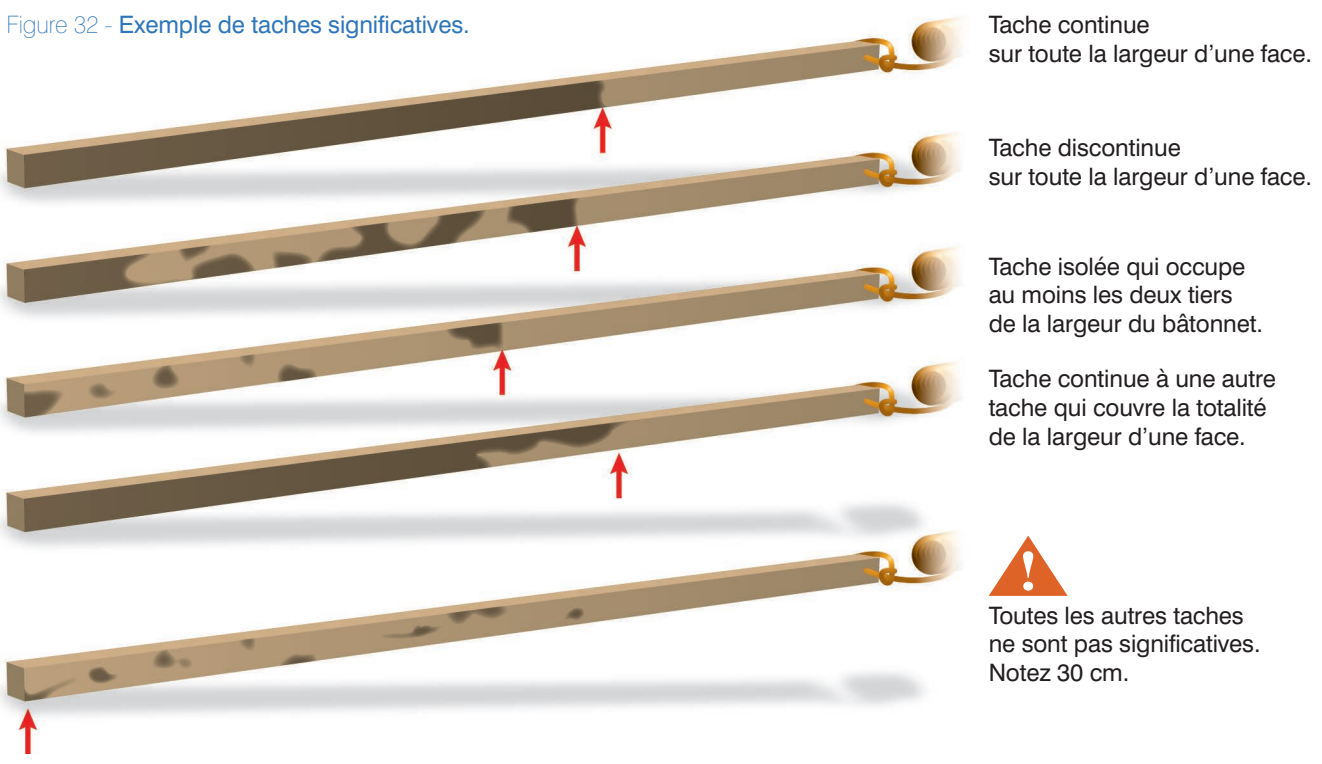
**« Tache » : toute altération de couleur du bâtonnet, qu'elle soit légère (gris clair) ou conséquente (gris foncé à noir)**

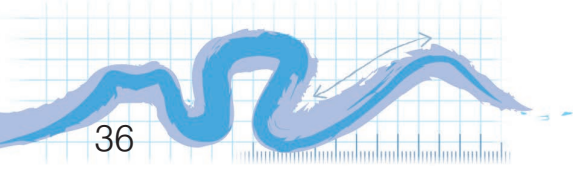


**Seule la face la plus impactante est mesurée**  
(c'est-à-dire la face où la première tache significative rencontrée est la plus proche du sommet du bâton)

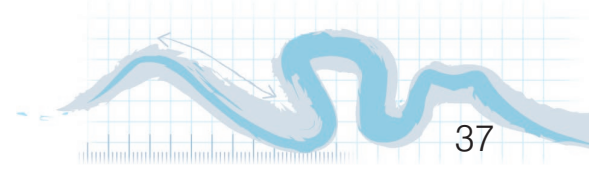
Figure 31 - Clé d'identification d'une tache significative.

Figure 32 - Exemple de taches significatives.









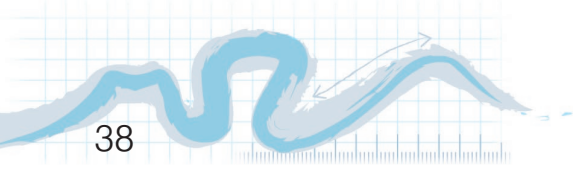
Annexe 1  
Bibliographie

Annexe 2  
Gabarit pour la mesure des éléments de granulométrie  
sur les transects

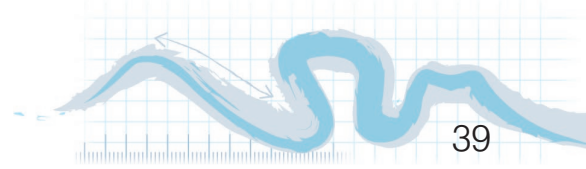
Annexe 3  
Fiches de recueil et de mise en œuvre du protocole

# Annexes





38

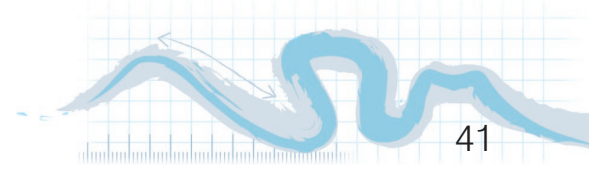


# Bibliographie

# Annexe 1



- **Bou C.**, 1977. *Conséquences écologiques de l'extraction des alluvions récentes dans le cours moyen du Tarn*. Bulletin d'écologie, 8 : 435-444.
- **Brunke M.**, 1999. *Colmation and depth filtration within streambeds: retention of particles in hyporheic interstices*. International Review of Hydrobiology, 84 : 99-117.
- **Dunham J.B., Cade B.S., Terell J.W.**, 2002. *Influences of spacial and temporal variation on fish-habitat relationships defined by regression quantiles*. Transactions of the American Fisheries Society, 131 : 86-98.
- **Gob F., Bilodeau C., Thommeret N., Belliard J., Albert M.B., Tamiés V., Baudoin J.M., Kreutzenberger K.**, 2014. *A tool for the characterisation of the hydromorphology of rivers in line with the application of the European Water Framework Directive in France (CARHYCE)*. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 1, : 57-72.
- **Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack Jr K., Cumming, K.W.**, 1986. *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems*. Advances in ecological research. London, pp. 133-302.
- **Hey R.D., Thorne C.R.**, 1986. *Stable channels with mobile gravel beds*. Journal of the Hydraulics Division., ASCE, 112 : 671-689.
- **Lâchât B.**, 1991. *Le cours d'eau, Conservation, Entretien et Aménagement*. Conseil de l'Europe, Comité directeur pour la protection et la gestion de l'environnement et du milieu naturel. Strasbourg, 84 pages.
- **Lecoz J., Camenem B., Dramais G., Ribot-Brunot J., Ferry M., Rosique J-L.**, 2011. *Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires - Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement*, Onema-Cemagref. 132 pages.
- **Leopold L.B., Maddock T.**, 1953. *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 252, 56 pages.
- **Malavoi J.R., Souchon Y.**, 2002. *Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques*. Note Technique. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 365/366 : 357-372.
- **Malavoi J.R., Bravard J.P.**, 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Onema. 224 pages.
- **Malavoi J.R., Garnier C.C., Landon N., Recking A., Baran P.**, 2011. *Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière*. Onema. 216 pages.
- **Malavoi J.R., Souchon Y.**, 2010. *Éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal. Volets hydromorphologie - hydroécologie*. Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 82 pages.
- **Malavoi J.R., Souchon Y.**, 2010. *Construire le retour d'expérience des opérations de restauration hydromorphologique. Éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal*. Onema-Cemagref, 95 pages
- **Maridet L., Amoros C.**, 1994. *La végétation rivulaire, facteur de contrôle du fonctionnement écologique des cours d'eau: influence sur les communautés benthiques et hyporhéiques et sur les peuplements de poissons dans trois cours d'eau du Massif Central*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon I, 295 pages.
- **Maridet L., Souchon Y.**, 1995. *Habitat potentiel de la truite fario (Salmo trutta fario, L. 1758) dans trois cours d'eau du Massif Central : approche méthodologique et premiers résultats sur le rôle de la végétation rivulaire arborée*. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 336 : 1-18.
- **Marmonier P., Delettre Y., Lefebvre S., Guyon J., Boulton A.J.**, 2004. *A simple technique using wooden stakes to estimate vertical patterns of interstitial oxygenation in the beds of rivers*. Archiv für Hydrobiologie, 160 :133-143.
- **Naiman R.J., Décamps H., McClain M.E.**, 2005. *Riparia : ecology, conservation, and management of streamside communities*, Elsevier Academic, Amsterdam ; Boston
- **Paul M.J., Meyer J.L.**, 2001. *Streams in the urban landscape*. Annual Review of Ecology and Systematics, 32 : 333-365.
- **Peterjohn W.T., Correll D.L.**, 1984. *Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed : Observations in the Role of the Riparian Forest*. Ecology, 65 : 1466-1475.
- **Vanek V.**, 1997. *Heterogeneity of groundwater-surface water ecotones*. Groundwater / Surface water ecotones (Eds. Gibert J., Mathieu J. et Fournier F.), Cambridge University Press, pp 151-161.



# Gabarit pour la mesure des éléments de granulométrie sur les transects

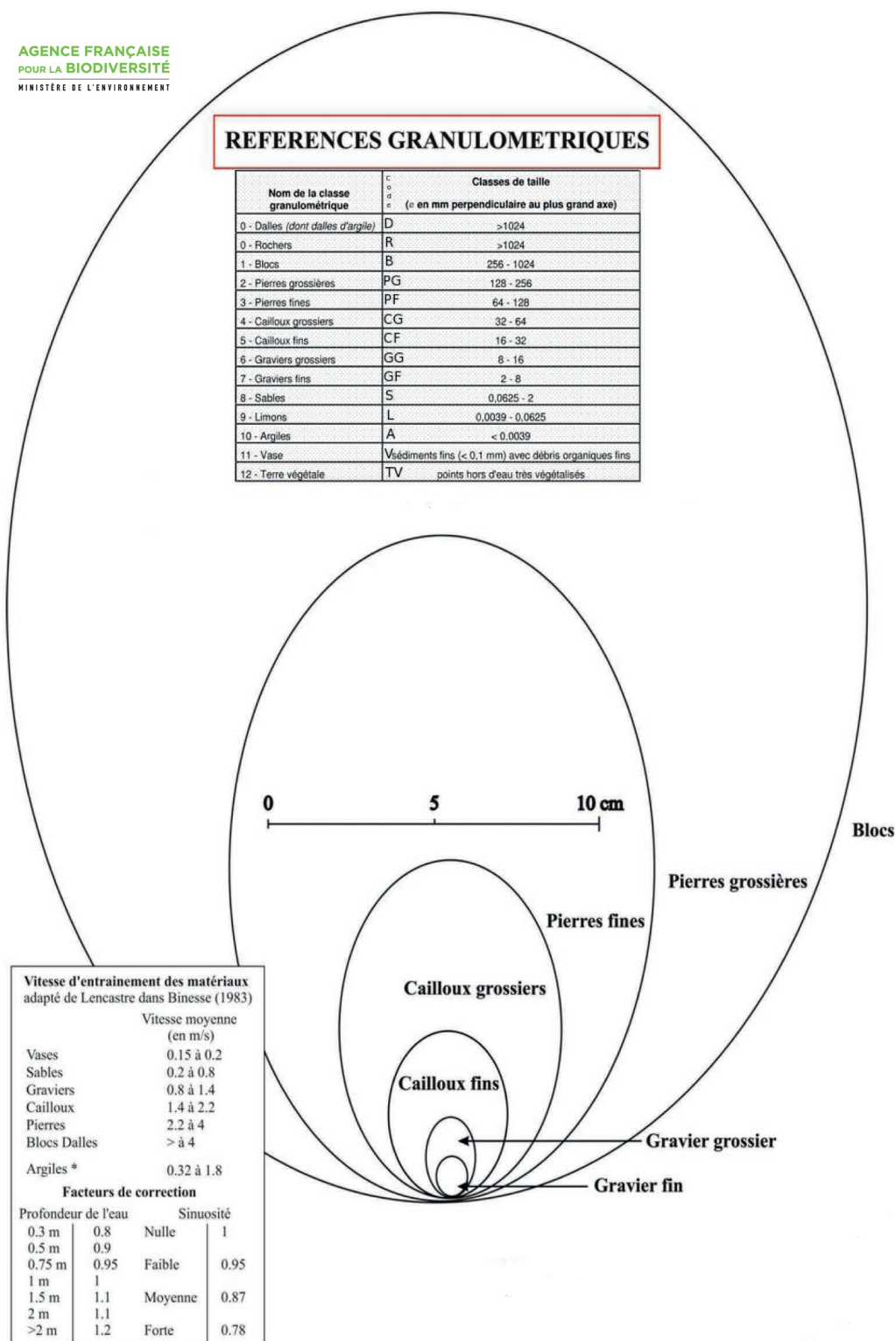
Annexe 2

! Mettre à l'échelle lors de l'impression.



### REFERENCES GRANULOMETRIQUES

Nom de la classe granulométrique	Code	Classes de taille (en mm perpendiculaire au plus grand axe)
0 - Dalles (dont dalles d'argile)	D	>1024
0 - Rochers	R	>1024
1 - Blocs	B	256 - 1024
2 - Pierres grossières	PG	128 - 256
3 - Pierres fines	PF	64 - 128
4 - Cailloux grossiers	CG	32 - 64
5 - Cailloux fins	CF	16 - 32
6 - Graviers grossiers	GG	8 - 16
7 - Graviers fins	GF	2 - 8
8 - Sables	S	0,0625 - 2
9 - Limons	L	0,0039 - 0,0625
10 - Argiles	A	< 0,0039
11 - Vase	V	Sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins
12 - Terre végétale	TV	points hors d'eau très végétalisés



#### Vitesse d'entraînement des matériaux adapté de Lencastre dans Binesse (1983)

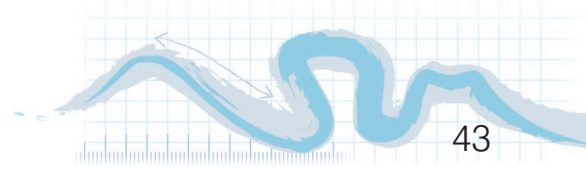
	Vitesse moyenne (en m/s)	
Vases	0.15 à 0.2	
Sables	0.2 à 0.8	
Graviers	0.8 à 1.4	
Cailloux	1.4 à 2.2	
Pierres	2.2 à 4	
Blocs Dalles	> à 4	
Argiles *	0.32 à 1.8	

#### Facteurs de correction

Profondeur de l'eau	Sinuosité	
0.3 m	0.8	Nulle 1
0.5 m	0.9	
0.75 m	0.95	Faible 0.95
1 m	1	
1.5 m	1.1	Moyenne 0.87
2 m	1.1	
>2 m	1.2	Forte 0.78

Matériaux cohérents du lit :  
de argiles très fines très peu compactes et indice de vide fort  
à argiles sableuses très compactées et indice de vide faible.

CMVA/annexes@pmed.fr



# Fiches de recueil et de mise en œuvre du protocole

## Annexe 3



RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Code/Nom station : .....  
 Opérateurs : .....  
 Date : ..... Météo : .....  
 Coordonnées amont : X = ..... Y = .....  
 Coordonnées aval : X = ..... Y = .....

Photos (3 photos amont + 3 photos aval)

REMARQUES

.....  
 .....  
 .....

RENSEIGNEMENTS STATION

Évaluation de la largeur de plein bord :

l<sub>pb-ev1</sub> : .....  
 l<sub>pb-ev2</sub> : .....  
 l<sub>pb-ev3</sub> : .....

l<sub>pb</sub> (m) : .....  
 l<sub>pb-ev</sub> (m) : .....

Évaluation de la largeur mouillée :

l<sub>m-ev1</sub> : .....  
 l<sub>m-ev2</sub> : .....  
 l<sub>m-ev3</sub> : .....

l<sub>m</sub> (m) : .....  
 l<sub>m-ev</sub> (m) : .....

Débit D (m<sup>3</sup>/s) \* : .....

Pente J (%) \* : .....

Longueur de station (14 x l<sub>pb-ev</sub>) : L (m) : .....  
 Distance inter-points (1/7 x l<sub>m-ev</sub>) : d (m) : ..... (cf. coefficient droite de régression)

Profondeur d'oxygénation (cm) \* :

A1 ..... B1 .....  
 A2 ..... B2 .....  
 A3 ..... B3 .....  
 A4 ..... B4 .....

Présence d'habitats marginaux :

OUI  NON

Si oui, préciser : .....  
 .....

HABITATS MARGINAUX

CONTINUITÉ RIPISYLVE

Absence		G	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>
Isolée		G	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>
Espace-régulière		G	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>
Bosquets éparses		G	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>
Semi-continue		G	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>
Continue		G	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>

GRANULOMETRIE RADIER

Diamètre perpendiculaire au plus grand axe (=plus grande largeur en mm)

1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Mesure non réalisée  Mesure réalisée hors station

\* : cf. fiches spécifiques



Code/Nom station : .....

Transect n° : .....  Début rive gauche  Début rive droite

lpb (m) : ..... lm (m) : ..... hpb (m) : .....

REMARQUES

Rappel : d inter points (m) : ..... d inter transects (m) : .....

CARACTERISTIQUES  
DU LIT

Points	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Profondeur (cm)															
Substrat minéral															
Substrat(s) additionnel(s)															

Minéral (mm): TV / V / A / L / S / GF(2-8) / GG(8-16) / CG(16-32) / CG(32-64) / PF (64-128) / PG (128-256) / B (256-1024) / R (>1024) / D (>1024, dont dalles d'A)  
 Additionnel : CR (Chevelu Racinaire) / VS (Végétation Surplombante) / DL (Débris Ligneux Grossiers Embâcles) / VA (Végétation Aquatique) / PD (Pool Détritique) / CC (Concrétion Calcaire)

FACIES

Facies simplifiés	Mouille					Facies affines
	Chenal lentique	Fosse de dissipation	Mouille de concavité	Fosse d'affaiblissement	Chenal lotique	
	Plat lentique	Plat courant	Plat courant	Plat lentique	Radier/Rapide	
	Plat lentique	Plat courant	Plat courant	Plat lentique	Rapide	Cascade
						Chute

RIVE GAUCHE

STRATE PRESENTE  Absence  Arborée  Arbustive  Herbacée

EPAISSEUR  <5m  5 à 10 m  10 à 25m  >25m

TYPE DE VEGETATION  Naturelle  Exotique  Plantée

STRATE + RECOUVRANTE :  Arborée  Arbustive

RIVE DROITE

STRATE PRESENTE  Absence  Arborée  Arbustive  Herbacée

EPAISSEUR  <5m  5 à 10 m  10 à 25m  >25m

TYPE DE VEGETATION  Naturelle  Exotique  Plantée

STRATE + RECOUVRANTE :  Arborée  Arbustive

CORRIDOR RIVULAIRE ET RIPISYLVE

BERGES

MATERIAU :  Mat. Naturels  Aménagement Végétalisé  Enrochement  Mat. Artificiels

HABITAT(S) CARACTERISTIQUE(S) :  Bloc Rocheux  Chevelu Racinaire  Débris Ligneux grossiers, embâcles  Sous Berge  Végétation Surplombante

MATERIAU :  Mat. Naturels  Aménagement Végétalisé  Enrochement  Mat. Artificiels

HABITAT(S) CARACTERISTIQUE(S) :  Bloc Rocheux  Chevelu Racinaire  Débris Ligneux grossiers, embâcles  Sous Berge  Végétation Surplombante

Mesurer la pente de la ligne d'eau entre le premier transect (T1, en tête de radier) et le dernier transect (T15) avec au moins 4 visées intermédiaires.

Code/Nom station : .....

Faire figurer les visées, positions du niveau et points intermédiaires.

SCHEMA DE SITUATION

Tronçon	Limite aval	Limite amont	Distance (m)	Visées limite aval (m) = lecture aval		Visées limite amont (m) = lecture amont		$\Delta h$ (m)
				Fh	Fb	Fh	Fb	
Tronçon 1	T1	Point 1		Fh	Fb	Fh	Fb	
Tronçon 2	Point 1	Point 2		Fh	Fb	Fh	Fb	
Tronçon 3	Point 2	Point 3		Fh	Fb	Fh	Fb	
Tronçon 4	Point 3	Point 4		Fh	Fb	Fh	Fb	
Tronçon 5	Point 4	Point T15		Fh	Fb	Fh	Fb	

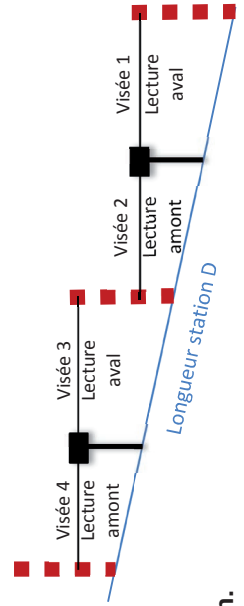
Fh = Fil stadimétrique haut ; Fm = Fil stadimétrique médian ; Fb = Fil stadimétrique bas

Afin de détecter d'éventuelles erreurs sur le terrain, vérifier que Fm est bien au milieu de Fh et Fb (soit  $(Fh+Fb)/2 = Fm$ ), puis calculer la pente estimée P de la station.

Avec P (%) =  $1000 \times \Delta H$  (en mètre) / D (en mètre), avec  $\Delta H = \sum \Delta h$  ou  $\Delta H = \sum Fm$  visées aval -  $\sum Fm$  visées amont ; et D la somme des distances des tronçons.

P estimé (%) = .....

Le calcul définitif de la valeur de pente s'effectuera au bureau, à l'aide d'une droite de régression.



VERIF. TERRAIN

DONNÉES

SCHEMA DE SITUATION

Code/Nom station : .....

REMARQUES

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

➤ **A compléter lors de la pose**

Date de pose des bâtonnets : .....

➤ Date approximative de relèvement des bâtonnets : .....

RADIER A

RADIER B

Coordonnées GPS du radier

.....

.....

Indices permettant de retrouver le radier :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Nombre de bâtonnets posés :

.....

.....

➤ **A compléter lors de la relève**

Date effective de relève des bâtonnets : .....

Photos des bâtons

**RADIER A**

**Etat du bâtonnet**

	Bon	Mauvais	Disparu
B1-A :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B2-A :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B3-A :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B4-A :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Profondeur d'oxygénation (en cm, avec un chiffre après la virgule)**

.....  
 .....  
 .....  
 .....

**RADIER B**

**Etat du bâtonnet**

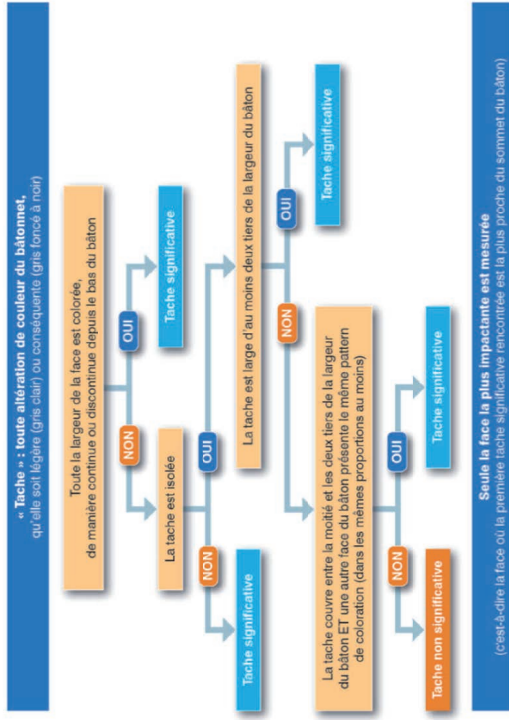
	Bon	Mauvais	Disparu
B1-B :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B2-B :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B3-B :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B4-B :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Profondeur d'oxygénation (en cm, avec un chiffre après la virgule)**

.....  
 .....  
 .....  
 .....

Profondeur d'oxygénation = distance entre le haut du bâtonnet et la première tâche significative (cf. schéma ci-contre)

*Cf. protocole de terrain pour plus de précisions*



Seule la face la plus impactante est mesurée (c'est-à-dire la face où la première tâche significative rencontrée est la plus proche du sommet du bâtonnet)

Chevelu racinaire	CR
Végétation surplombante	VS
Débris ligneux grossiers/ Embâcle	DL
Végétation aquatique	VA
Pool détritique	PD
Concrétion calcaire	CC

SUBSTRAT  
ADDITIONNEL

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code
Dalles (dont dalles d'argile)	>1024	D
Rochers	>1024	R
Blocs	256 - 1024	B
Pierres grossières	128 - 256	PG
Pierres fines	64 - 128	PF
Cailloux grossiers	32 - 64	CG
Cailloux fins	16 - 32	CF
Graviers grossiers	8 - 16	GG
Graviers fins	2 - 8	GF
Sables	0,0625 - 2	S
Limons	0,0039 - 0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A
Vase	Sédiments fins (<0.1) avec débris organiques	V
Terre végétale	points hors d'eau très végétalisés	TV

SUBSTRAT MINÉRAL

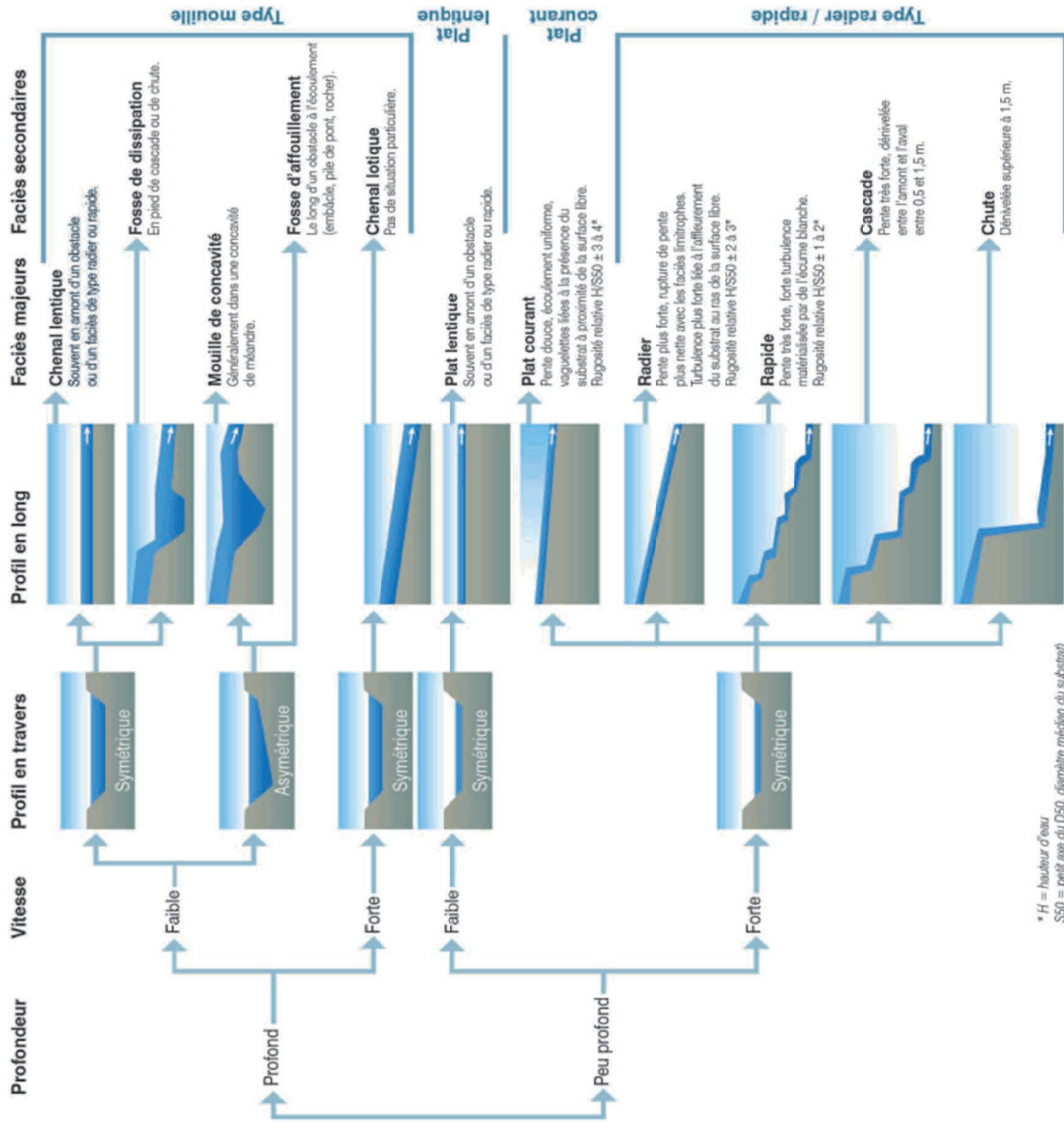
Matériaux naturels	MN
Aménagement Végétalisé	AV
Enrochement	ER
Matériaux artificiels	MA

MATÉRIAUX DES  
BERGES

Sous-berge	SB
Chevelu racinaire	CR
Végétation surplombante	VS
Débris ligneux grossiers/ Embâcle	DL
Blocs Rocheux	BR

HABITATS DES  
BERGES

# FACIES



\*  $H$  = hauteur d'eau  
 $SS0$  = petit axe du  $D50$ , diamètre médian du substrat

# DÉBIT

Hauteur d'eau (cm)	Nombre de mesures	Disposition des points de mesure (à partir du FOND)	
$h < 10$	1	0.4 x h	
$10 \leq h < 20$	2	0.2 x h	0.8 x h
$h \geq 20$	3	0.2 x h	0.4 x h 0.8 x h



Version papier ISBN 978-2-37785-008-2  
Version web (pdf) ISBN 978-2-37785-007-5

Document réalisé par la Mission de la communication  
Secrétariat de rédaction et suivi de fabrication : Gisèle Parfait

Conception, maquette et iconographie : Graphies 97480

Impression : IME by Estimprim  
Cet ouvrage a été réalisé avec des encres végétales.



© Agence française pour la biodiversité, mai 2017



Fosses, plats ou radiers, forme du lit, structure et végétation des berges, nature du fond et des habitats présents... ces éléments caractérisent le fonctionnement hydromorphologique d'un cours d'eau. Ce fonctionnement se met en place naturellement sous diverses contraintes environnementales ; mais peut se voir modifié sous celles résultant de l'activité humaine, alors causes reconnues dans l'altération du bon fonctionnement des rivières.

En France, pour quantifier ces altérations, et tenter d'y remédier, l'hydromorphologie fait l'objet d'un suivi régulier que ce soit pour répondre aux objectifs de la directive cadre sur l'eau (DCE) comme dans la mise en œuvre plus locale d'actions de restauration de cours d'eau. Il s'agit d'un enjeu majeur, l'altération du bon fonctionnement d'un cours d'eau pouvant induire une perte dans la qualité comme dans la quantité d'habitats disponibles pour les espèces qui y vivent.

S'appuyant sur son expertise technique et scientifique ainsi que sur sa connaissance des milieux aquatiques et des acteurs de l'eau, l'AFB, organisme technique national de référence accompagnant la mise en œuvre des politiques de l'eau, a coordonné et permis l'élaboration d'une méthode pour aider à quantifier l'altération hydromorphologique des cours d'eau, orienter les mesures de gestion voire définir un cadre de travail lors d'opérations de restauration : Carhyce.

Le protocole de terrain Carhyce pour « caractérisation hydromorphologique des cours d'eau » définit les données à acquérir et leur méthode d'acquisition, objective et standardisée. Adapté dans cet ouvrage aux cours d'eau prospectables à pied, ce protocole permet d'obtenir un rendu impartial de la situation du cours d'eau, de la géométrie et substrats du lit jusqu'à la description des berges et du corridor rivulaire.

Destiné aux acteurs de l'environnement, cet ouvrage richement illustré s'intéressera à exposer les éléments d'analyse et de compréhension nécessaires à l'application du diagnostic Carhyce sur leur territoire.



**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT,  
DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, EN CHARGE DES RELATIONS  
INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT**

**AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ**

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

Le 1<sup>er</sup> janvier 2017, l'Agence des aires marines protégées, l'Atelier technique des espaces naturels, l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques et Parcs nationaux de France ont regroupé leurs compétences pour créer l'Agence française pour la biodiversité.

<http://www.afbiodiversite.fr/>