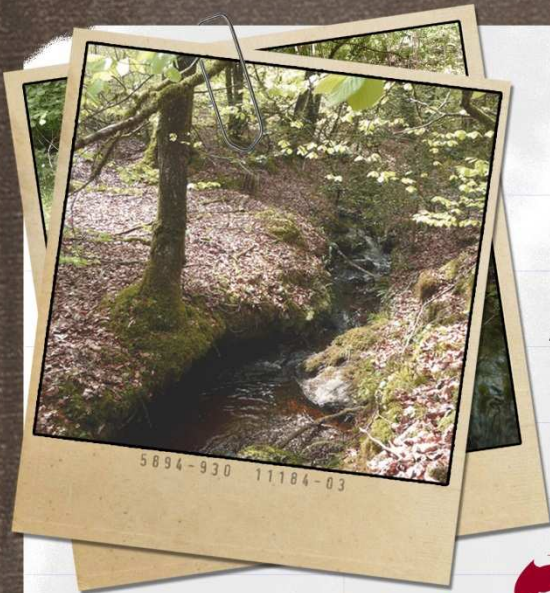


Alexandre JAN

2eme année de Master
mention Biodiversité - Ecologie - Environnement (BÉE)
spécialité Gestion des Habitats et des Bassins Versants (GHBV)



UNIVERSITÉ DE
RENNES 1

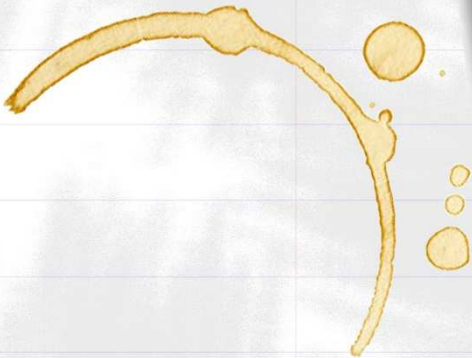


ONEMA
Office national de l'eau
et des milieux aquatiques

Etude du fonctionnement
hydromorphologique de référence
des cours d'eau de tête de bassin versant
sur le Massif Armoricaïn

Stage effectué du :
04/03/2013 au 30/08/2013
à la Direction Inter Régionale
Bretagne-Pays de la Loire

Maîtres de stage :
Olivier Ledouble
Mikaël Le Bihan



« Le principe de toutes choses, c'est l'eau. Tout vient à l'eau et tout retourne à l'eau ».

Goethe

« Les grandes révolutions naissent des petites misères comme les grands fleuves des petits ruisseaux »

Victor Hugo

REMERCIEMENTS

D'une manière générale, témoigner sa reconnaissance à quelqu'un est un acte des plus agréables. Cependant à l'heure où j'écris ces lignes, même si je suis très content d'affirmer ma gratitude pour les personnes qui m'ont entouré ces 6 derniers mois, c'est non sans mélancolie que je me dis que ces remerciements illustrent également la fin d'une belle aventure, aussi riche sur le plan professionnel qu'humain.

Durant ce stage, de nombreuses personnes ont gravité autour de la thématique « tête de bassin versant » et ce, avec beaucoup d'enthousiasme et de motivation. Cet aspect, très stimulant pour moi, prouve également qu'à ce jour, nos petits cours d'eau se voient bénéficier de grandes attentions.

Mes premiers remerciements vont naturellement vers Olivier Ledouble, technicien supérieur à l'unité connaissance de l'ONEMA, qui fût mon maître de stage durant cette mission. Olivier, merci pour ton accueil, ta joie de vivre, ton professionnalisme et ta gentillesse. J'ai rarement eu autant de plaisir à me lever les lundis matin pour aller travailler ! Merci également de m'avoir fait confiance durant ces 6 derniers mois. Sache que le travail à tes côtés a été fort agréable, merci encore.

Je tiens à remercier spécialement Mikaël Le Bihan, technicien de l'environnement à l'ONEMA. Après m'avoir épaulé lors mon précédent stage l'année dernière, Mikaël a une fois de plus renouvelé l'initiative. Fort d'une grande connaissance sur le fonctionnement des têtes de bassin versant, il a su me partager son expérience, me guider sur un bon nombre de choix, mais surtout me faire prendre du recul sur la complexité de la thématique et son rôle majeur sur l'ensemble du réseau hydrographique. Merci à toi Mikaël, tu as été l'un, si ce n'est le pilier du bon déroulement de ce stage.

Plus largement, mes remerciements vont également vers l'ensemble du personnel constituant la délégation interrégionale ONEMA Bretagne – Pays de la Loire. Merci à Thibault Vigneron pour ses conseils avisés, Alix Nihouarn et Marie-Andrée Arago pour leur attention, mais aussi José Berdayes et Nathalie Hamel, pour leur aide sur le terrain. Une attention particulière est portée pour Josselin Barry et Laetitia Faivre, respectivement Technicien SIG et Ingénieur à l'unité connaissance, qui ont su braver pluie, vent et touradons avec bonne humeur lors de nombreuses sorties de terrain. J'en oublierais presque le temps passé dans mes traitements SIG, merci Jo !

Je remercie également l'ensemble des services Départementaux Bretagne – Pays de La Loire, Notamment Pascal Hus, Gilles Leroux, Christine Verjus, Gérard Janneau, Gilles Helbert, mais aussi Michel Leroux et Dominique Boussion. Merci pour votre aide. Sans vous, le recensement des cours d'eau de référence aurait été très fastidieux, et sans ces précieuses données, difficile de faire quelque chose !

Un grand merci à l'ensemble du comité technique, réuni pour les stagiaires DIR2 et constitué par Yohann Fouentes, Alain Crave, François-Xavier Duponcheel, Florian Guérineau, Arnaud Cholet et François Veillard. Leur disponibilité et leur écoute, tout comme leurs critiques et leurs conseils m'ont été très utiles afin de mieux cibler les attentes de mon stage.

Je remercie par la même occasion Frédéric Gob, géomorphologue au CNRS Ile de France Ouest et Nord ; Yves Souchon, directeur de recherche IRSTEA Lyon ; Mathieu Cassel, Ingénieur d'étude en géomorphologie à l'IRSTEA et Michel Bramard, technicien à l'ONEMA, pour la pertinence de leurs critiques et la richesse de leurs conseils.

Mes derniers remerciements vont vers Patricia Gauvin, Martine Menard, Nelly Landry-Garnier et Pascale Provost, personnel au sein des locaux de l'ONEMA. Leur sourire et gentillesse quotidienne vont certainement me manquer !

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA)

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques a été créé par la Loi sur l'Eau et les Milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 (loi n°2006-1172). Son décret d'application du 25 mars 2007 (décret n°2007-443) a transformé l'ancien Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) en un nouvel établissement aux fonctions élargies, sous tutelle du Ministère en charge de l'Ecologie et du développement durable. Sa création vise à contribuer à la préservation et la mise en valeur des milieux aquatiques afin de favoriser la gestion globale et durable de la ressource en eau. Plus largement, l'ONEMA s'inscrit dans les objectifs de reconquête de la qualité des eaux et l'atteinte de leur bon état, fixé par la Directive Cadre Européenne (DCE) d'ici à 2015.

L'ONEMA est à ce jour l'organisme technique français de référence sur la connaissance et la surveillance de l'état et sur le fonctionnement écologique des milieux aquatiques. Il s'organise au sein de 4 missions majeures :

- **Le développement des savoirs sur l'eau et les milieux aquatiques** : l'ONEMA s'implique dans l'orientation des programmes de recherche et construit un partenariat de proximité avec de nombreux organismes (IRSTEA, BRGM, INRA, ...).
- **L'information sur l'eau, les milieux aquatiques et leurs usages** : l'ONEMA coordonne le Système d'Information sur l'Eau (SIE), qui a pour objectif la conservation et la diffusion des données et des indicateurs sur l'eau et les milieux aquatiques.
- **Le contrôle des usages de l'eau** : l'ONEMA joue un rôle majeur dans la prévention des dégradations de l'eau et des milieux aquatiques. Elle veille également au respect de la réglementation pour ces systèmes.
- **L'action territoriale** : l'ONEMA apporte un appui technique et/ou financier à la mise en œuvre des politiques de l'eau.

L'essentiel des ressources de l'ONEMA provient de la contribution qui lui est versée par les agences de l'eau à partir des redevances acquittées par les différents usagers de l'eau. Cette contribution s'élevait en 2012 à 110 millions d'euros.

L'ONEMA est constitué de près de 900 personnes. Cet effectif se répartit sur 3 niveaux : une direction générale, 9 délégations interrégionales et 90 services départementaux ou interdépartementaux.

- ❖ **La direction générale** : basée à Vincennes, la direction générale coordonne les délégations interrégionales et les services départementaux. Elle se divise en 3 directions : la Direction de

l'Action Scientifique et Technique (DAST) ; la Direction de la Connaissance et de l'Information sur l'Eau (DCIE) et la Direction du Contrôle des Usages et de l'Action Territoriale (DCUAT).

❖ **Les Délégations InterRégionales (DIR) :**

Composées d'ingénieurs et de techniciens, les DIR organisent le recueil et la valorisation des données sur l'état des milieux aquatiques ; apportent un appui technique aux services de l'Etat et animent les actions de contrôle et de police sur leur territoire. Outre ces missions, les DIR encadrent les services départementaux qui leur sont rattachés.

❖ **Les Délégations InterRégionales (DIR) :**

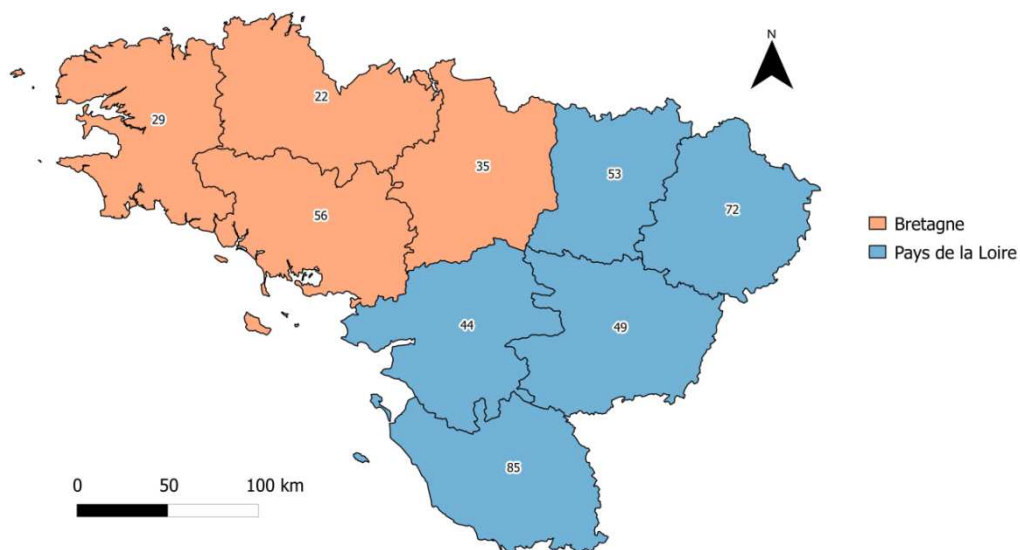
Composées d'ingénieurs et de techniciens, les DIR organisent le recueil et la valorisation des données sur l'état des milieux aquatiques ; apportent un appui technique aux services de l'Etat et animent les actions de contrôle et de police sur leur territoire. Outre ces missions, les DIR encadrent les services départementaux qui leur sont rattachés.

❖ **Les services départementaux :** Constitués de techniciens et d'agents techniques, les SD mènent des actions de contrôle des usages, assurent le recueil des données de terrain et apportent un appui technique aux gestionnaires et aux autorités chargées de mettre en œuvre la politique de l'eau.



Localisation géographique et sièges respectifs des 9 Directions Interrégionales de l'ONEMA.

Le stage s'est effectué sur le territoire de la DIR 2, dans les locaux de la délégation interrégionale Bretagne-Pays de la Loire basés à Rennes. Ce territoire regroupe 2 régions (Bretagne / Pays de la Loire) et 9 départements.



Organisation de la délégation Bretagne - Pays de la Loire

Organigramme 2013 de la Délégation Interrégionale Bretagne-Pays de la Loire :

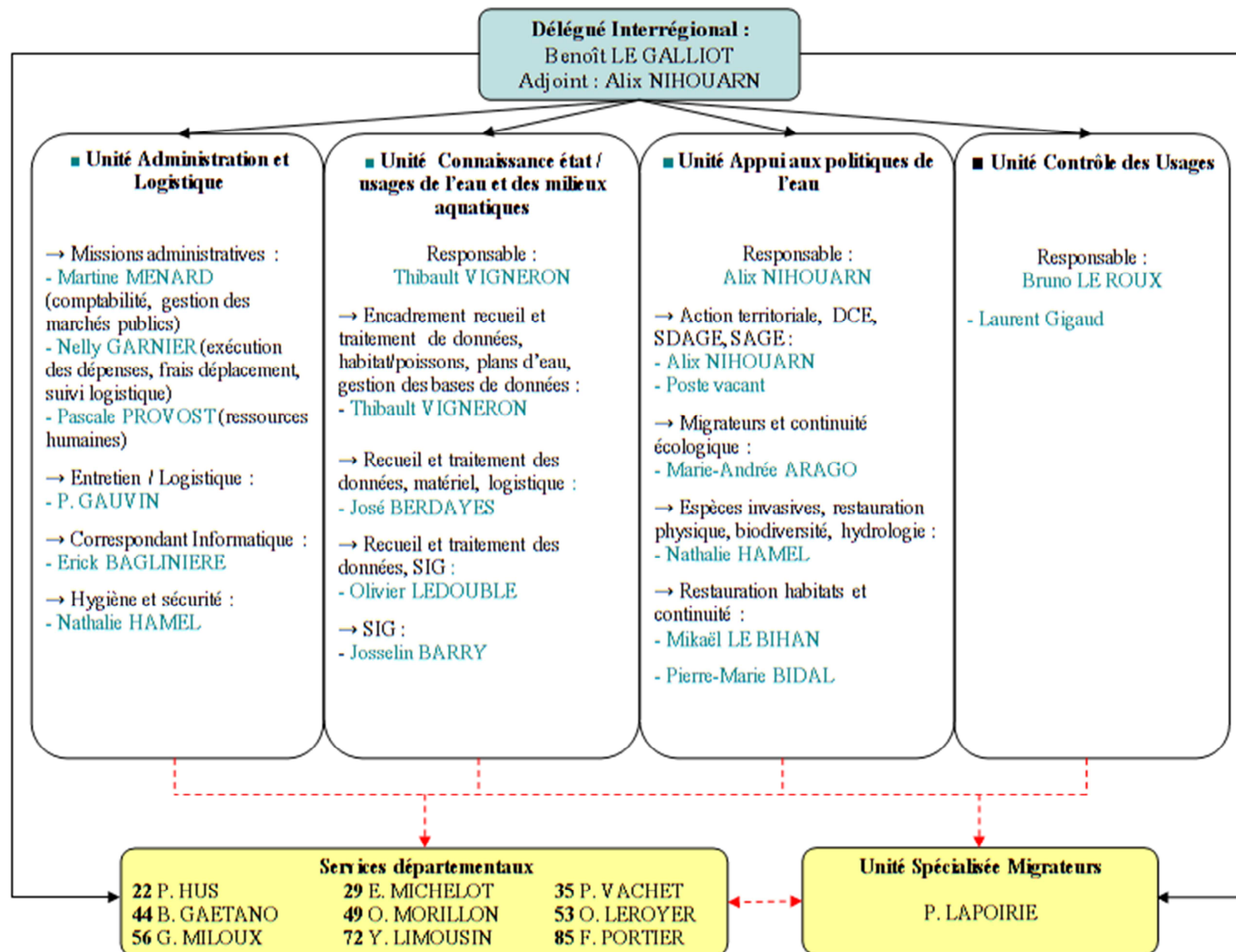


TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1. Etat des connaissances sur les cours d'eau en tête de bassin versant	3
1.1. Définition	3
1.2. Caractéristiques hydrographiques et hydrologiques	3
1.3. Fonctionnalités des cours d'eau en tête de bassin versant	4
1.4. Des systèmes peu connus et vulnérables.....	4
2. L'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant	5
2.1. Contexte et définition.....	5
2.2. Connaissances hydromorphologiques.....	5
2.2.1. Les cours d'eau en tête de bassin versant	5
2.2.2. Les cours d'eau d'ordres supérieurs	6
2.3. Outils d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau	7
2.3.1. Variables issues des protocoles adaptés au cours d'eau en tête de bassin.....	7
2.3.2. Variables issues des protocoles adaptés aux cours d'eau d'ordres supérieurs	8
2.3.3. Variables complémentaires d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin	9
3. La référence	9
3.1. Définition et caractéristiques de la référence.....	9
3.2. Méthode de recherche de stations de référence	10
DESCRIPTION STATIONNELLE, PROTOCOLE D'ETUDE ET METHODE D'ANALYSE.....	
1. Description stationnelle	12
1.1. Données administratives et hydrologiques	12
1.2. Pluviométrie.....	12
1.1. Hydroécorigions	12
1.1. Occupation du sol.....	12
2. Sélection des cours d'eau « candidats » à la référence	13

2.1.	Contexte	13
2.2.	Critères de sélection des cours d'eau de référence	13
3.	Protocole expérimental	14
3.1.	Sélection de l'échantillon d'étude	14
3.2.	Présentation du protocole d'étude	15
3.3.	Période d'échantillonnage	15
3.4.	Mesures et précautions d'usage	15
3.5.	Mesures hydromorphologiques principales	15
3.5.1.	Caractéristiques du tronçon	15
3.5.2.	Délimitation de la station	16
3.5.3.	Niveau d'intermittence des écoulements	16
3.5.4.	Tracé en plan de la station	16
3.5.5.	Estimation du coefficient de rugosité : méthode de Cowan	16
3.5.6.	Mesures du gabarit du lit	17
3.5.7.	Mesure de la sinuosité	18
3.5.8.	Mesure de la pente	18
3.5.9.	Mesures granulométriques	18
3.6.	Mesures complémentaires	18
3.6.1.	Occupation du sol de la bande riveraine (15m par rive)	18
3.6.2.	Evaluation des zones humides (15m par rive)	18
3.6.3.	Description de la ripisylve (5m par rive)	19
3.6.4.	Bois en rivière	19
3.6.5.	Eclairement moyen du lit mineur	20
3.6.6.	Evaluation du volume de litière (5m par rive)	20
3.6.7.	Evaluation des faciès d'écoulement	20
4.	Outils d'analyses	20
	RESULTATS	21
1.	Sélection du jeu de données	21

2.	Paramètres hydromorphologiques principaux	21
2.1.	Analyses statistiques	22
2.1.1.	Analyse en composantes principales et classification hiérarchique ascendante.....	22
2.1.2.	Analyses complémentaires	25
2.2.	Comparaison des Qpb de terrain avec des Q2 de la banque hydro.....	26
1.1.	Coefficient de rugosité	27
3.	Paramètres hydromorphologiques annexes	27
3.1.	Occupation du sol.....	27
3.2.	Faciès d'écoulement.....	28
3.3.	Bois en rivière	30
3.4.	Zones humides	30
4.	Comparaison des deux méthodes de recueil de la largeur de plein bord.....	32
4.1.	Détermination d'une longueur minimale de station.....	32
4.2.	Détermination du nombre minimal de transects	32
4.3.	Distance préconisée entre les transects	32
	DISCUSSION.....	33
1.	Bilan des connaissances sur les cours d'eau en tête de bassin versant.....	33
2.	Fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau en tête de bassin versant	33
2.1.	Recherche et sélection des cours d'eau candidats à la référence	33
2.2.	Fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau de tête de bassin versant ...	34
2.2.1.	Paramètres hydromorphologiques principaux	34
2.2.2.	Paramètres hydromorphologiques complémentaires.....	36
2.2.3.	Comparaison des deux méthodes de recueil de Lpb	37
3.	Perspectives d'amélioration du protocole d'étude.....	37
	CONCLUSION.....	39
	BIBLIOGRAPHIE.....	41

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon la méthode de Strahler.....	3
Figure 2 : Balance de Lane, illustrant le principe d'équilibre dynamique.....	7
Figure 3 : Occupation du sol sur le territoire de la DIR 2.....	12
Figure 4 : Répartition des hydroécocorégions de niveau 1 et 2 sur le territoire de la DIR2.	13
Figure 5 : Distribution des stations de référence remontées (a) et prospectées (b) par département et répartition de ces stations selon les hydroécocorégions de niveau 1 sur le territoire de la DIR2 (c).....	14
Figure 6 : Représentation des différentes formes de vallées, d'après RHS (2003).....	15
Figure 7 : Station délimitée par la distance écologique (30m).....	16
Figure 8 : Illustration des différents types d'écoulement au sein du cours d'eau.....	16
Figure 9 : Détail des mesures granulométriques.	17
Figure 10 : Mesure de la sinuosité de la station	18
Figure 11 : Zones d'emprise des paramètres complémentaires.	19
Figure 12 : Boîtes à moustaches des paramètres hydromorphologiques principaux.....	21
Figure 13 : ACP des variables principales	23
Figure 14 : Représentation selon 3 axes des résultats de la classification hiérarchique ascendante.(Cluster : group).....	23
Figure 15 : Répartition des stations selon deux axes factoriels (résultats de l'ACP) et représentation des groupes définies par la Classification Hiérarchique Ascendante.	24
Figure 16 : Comparaison des débits à plein bord de terrain avec des débits biennaux, quinquennaux et décennaux théoriques. (Source hydro.eaufrance)	27
Figure 17 : Dispersion des valeurs de coefficient de rugosité pour les 30 stations étudiées.....	27
Figure 18 : Types d'occupation de sol, surfaces associées pour chaque station et pourcentage de recouvrement par type de sol pour l'ensemble de l'échantillon d'étude.....	28
Figure 19 : Proportion de cours d'eau selon leur pourcentage d'occupation naturelle de sol	28
Figure 20 : Boîtes à moustaches du nombre, de la richesse et des longueurs des faciès d'écoulement par station.....	28
Figure 21: Répartition du nombre de faciès moyens observés par station.	29
Figure 22 : Distance de retour au radier, exprimée en L_{pb}	29
Figure 23 : Données descriptives des bois en rivière par station pour l'échantillon d'étude	30
Figure 24 : Distribution du nombre de ZH observées par station.	31
Figure 25 : Distribution des surfaces des ZH observées sur notre lot de 30 stations	31

Tableau 1 : données pluviométriques moyennes de l'ensemble des départements de la DIR2	12
Tableau 2 : Caractéristiques hydromorphologiques dominantes des cours d'eau issus de l'échantillon.	22
Tableau 3 : Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique– principales caractéristiques des groupes. + : valeur de la variable supérieure à la moyenne du jeu de données, - : valeurs prises par la variable Inférieure à la moyenne. MAO : Massif Armoricaïn Ouest, MANE : Massif Armoricaïn Nord Est, MASI : Massif Armoricaïn Sud Intérieur, MAEI : Massif Armoricaïn Est Intérieur.....	25
Tableau 4 : Détail des résultats issus des corrélations et régressions linéaires de plusieurs variables principales.	25
Tableau 5 : Valeurs du coefficient n_1	19
Tableau 6 : Echelle granulométrique de Wentworth.	23

TABLE DES ABREVIATIONS

- ✚ AURAH-CE : Audit Rapide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau
- ✚ BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- ✚ CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau.
- ✚ CLC : Corine Land Cover
- ✚ CSP : Conseil Supérieur de la Pêche
- ✚ DAST : Direction de l'Action Scientifique et Technique
- ✚ DCE : Directive Cadre sur l'Eau
- ✚ DCIE : Direction de la Connaissance et de l'Information sur l'Eau
- ✚ DCUAT : Direction du Contrôle des Usages et de l'Action Territoriale
- ✚ DIR2 : Délégation InterRégionale Bretagne-Pays de la Loire
- ✚ HMS : Habitat Modifications Score
- ✚ HQA : Habitat Quality Assessment
- ✚ IGN : Institut Géographique National
- ✚ INRA : Institut National de Recherche Agronomique
- ✚ IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture
- ✚ LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
- ✚ ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
- ✚ REH : Réseau d'Evaluation des Habitats
- ✚ RHS : River Habitat Survey
- ✚ SD : Services Départementaux
- ✚ SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de la Gestion des Eaux
- ✚ SYRAH : Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie
- ✚ TDBV : Tête De Bassin Versant

INTRODUCTION

Les cours d'eau sont des milieux considérés vivants, dynamiques et complexes, mais aussi et surtout trop fortement impactés par les pressions anthropiques, au détriment d'une évolution durable. La récente prise de conscience de l'importance environnementale de la préservation de la qualité et de la quantité de l'eau s'est concrétisée par la mise en place, en 2000, de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Cet élément majeur de la réglementation européenne en faveur de la protection des milieux aquatiques, vise à lutter contre de nouvelles dégradations et à parvenir, d'ici 2015, au « bon état écologique » de l'ensemble des masses d'eau continentales. La DCE introduit également le terme d'hydromorphologie dans ses textes. Cette discipline, à l'interface entre hydrologie, géomorphologie et écologie, est aujourd'hui de plus en plus prise en compte dans la gestion des milieux aquatiques, car elle offre de nouvelles perspectives dans la considération des processus physiques, des actions et stratégies de restauration (Newson & Large, 2006 ; Vaughan *et al.*, 2009 in Rinaldi *et al.*, 2012).

Cependant, la mise en œuvre de la DCE nécessite la création d'outils permettant d'évaluer les altérations subies par les cours d'eau au regard d'une situation jugée de « référence ». Il convient donc de définir ces conditions, car elles permettront d'une part d'évaluer et de quantifier correctement les pressions anthropiques s'exerçant sur les cours d'eau (Chaves *et al.*, 2006), et d'autre part d'en faire émerger des solutions de gestion adaptées. De nos jours, la détermination des conditions de référence se fait principalement sur des cours d'eau moyens à grands.

Pourtant, les cours d'eau en tête de bassin versant représentent 70 à 85% du réseau hydrographique (Peterson *et al.*, 2001 ; Alexander *et al.*, 2007) . Ces systèmes permettant d'assurer des fonctions écologiques vitales pour notre environnement, possèdent un rôle majeur dans la transformation d'éléments (Peterson *et al.*, 2001) et représentent l'un des habitats les plus diversifiés du réseau (Meyer *et al.*, 2007 ; Clarke *et al.*, 2008). Paradoxalement à tous ces services rendus, les cours d'eau en tête de bassin versant sont bien souvent peu considérés, notamment du fait de leurs petites tailles et de leur écoulement intermittent (Nadeau & Rains, 2007). Preuve de cette absence de considération : très peu d'entre eux sont cartographiés et la grande majorité de ces cours d'eau ne présente pas de nom, d'où une potentialité de dégradation encore plus importante que sur les cours d'eau plus grands. Ces systèmes sont pourtant jugés éléments déterminants de la qualité du bassin et doivent donc faire l'objet d'actions prioritaires en matière de gestion (Choucard, 2011). Face à ces rôles environnementaux majeurs au sein du bassin hydrographique, à cette proportion importante dans le réseau, et enfin aux dégradations récurrentes qu'ils subissent, ces cours d'eau apparaissent comme un système d'étude pertinent.

C'est dans ce contexte que la Délégation InterRégionale Bretagne-Pays de la Loire de l'ONEMA (DIR2) a décidé de mettre en place un projet d'étude du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant. Cette démarche s'inscrit dans la première phase d'un projet nommé « Tête de

bassin versant » qui vise *in fine* à développer et améliorer des méthodes de restauration adaptées aux petits cours d'eau. La présente étude devra répondre aux objectifs suivants :

- ✓ Elaborer et valider un protocole d'étude
- ✓ Décrire et approcher des « valeurs guides » dans la compréhension et le fonctionnement hydromorphologique de ces petits cours d'eau

Pour répondre à ces objectifs, une synthèse bibliographique a été réalisée dans le but d'améliorer la détermination des conditions de référence, de synthétiser les acquis en terme d'hydromorphologie, et de vérifier l'adaptabilité des connaissances hydromorphologiques au cours d'eau en tête de bassin versant. Une phase de sélection des cours d'eau de référence a par la suite été menée. Enfin, un échantillon d'une trentaine de cours d'eau issus de cette sélection a été soumis à un protocole expérimental, en grande partie inspiré du protocole CARHYCE et des travaux d'Aurélia Mathieu en 2010. Ce protocole a pour objectif premier l'acquisition et l'analyse des données hydromorphologiques de référence en tête de bassin versant, pour affiner notre compréhension du fonctionnement hydromorphologique de ces cours d'eau.

1. Etat des connaissances sur les cours d'eau en tête de bassin versant

1.1. Définition

A l'extrémité apicale des bassins versants, les cours d'eau naissent de l'émergence des eaux souterraines à la surface du sol et des sources en amont (Choucard, 2011). Le réseau que constitue ces cours d'eau drainent des centaines voire des milliers de micro-surfaces appelées tête de bassin versant (Freeman *et al.*, 2007). Plusieurs définitions existent pour déterminer les têtes de bassin versant (Freeman *et al.*, 2007 ; Wipfli *et al.*, 2007 ; SDAGE Loire-Bretagne). L'une des plus anciennes définit ce terme comme les bassins versants des cours d'eau de rang 1 et 2 selon la classification de Strahler (Strahler, 1957) (cf. figure 1). Cette définition, bien que généralement admise, ne prend pas en compte l'échelle choisie dans l'attribution des rangs. De ce fait, attribuer les « vrais » valeurs de rang exigerait de connaître l'intégralité du réseau hydrographique existant (OFEV, 2009). Il convient alors de prendre en compte une définition plus pragmatique : en France, les têtes de bassin versant sont définies comme les bassins versant de cours d'eau de rang 1 et 2 identifiés sur la carte IGN au 1 :25 000. Malgré la bonne adaptabilité de cette définition, celle-ci demeure encore incomplète puisqu'elle se heurte au degré de précision des cartes (Le Bihan, 2009).

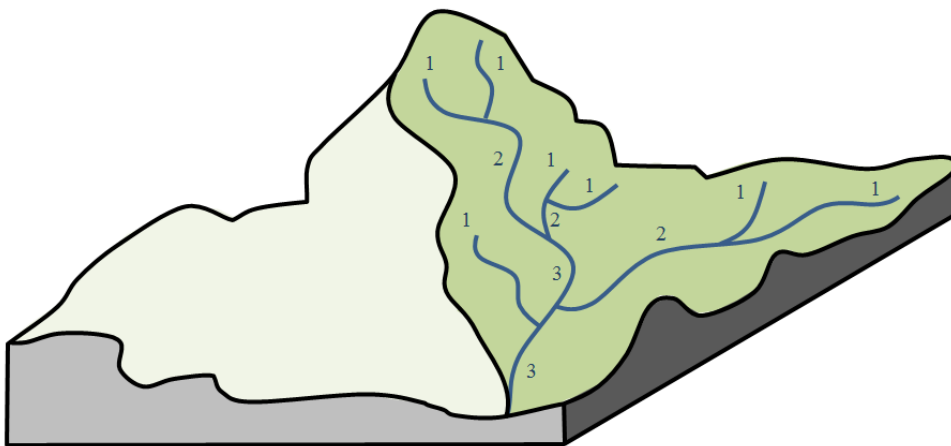


Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon la méthode de Strahler.

1.2. Caractéristiques hydrographiques et hydrologiques

Bien que ces systèmes présentent une largeur dépassant rarement le mètre (Wipfli *et al.*, 2007), les cours d'eau en tête de bassin versant contribueraient, suivant les régions, de 70 (Nadeau & Rains, 2007) à 85% (Peterson *et al.*, 2001) du linéaire total du réseau hydrographique. Une étude menée par Alexander *et al.*, 2007, montre même que les cours d'eau de rang 1 constituent à eux seuls 55% du réseau hydrographique. Ces ruisseaux pérennes, intermittents ou éphémères (Nadeau & Rains, 2007 ; Berkowitz *et al.*, 2011) bénéficient d'une quantité importante d'eau durant l'année (Nadeau & Rains, 2007).

1.3. Fonctionnalités des cours d'eau en tête de bassin versant

Les cours d'eau en tête de bassin versant assurent plusieurs fonctions fondamentales au sein du réseau hydrographiques. Tout d'abord, le transport de l'eau : de par leurs petites tailles et leur rugosité naturelle, les cours d'eau en tête de bassin versant régulent les régimes hydrologiques en réduisant les vitesses d'écoulements (Meyer *et al.*, 2007) et en stockant l'eau au sein des nombreuses zones humides qu'ils possèdent (Janish *et al.*, 2012). Les cours d'eau en tête de bassin versant jouent également un très grand rôle dans la transformation d'éléments (Peterson *et al.*, 2001), la dénitrification (Peyrard, 2008), la rétention de matière organique (Benda, 2005 ; Lowe & Likens, 2005 ; Meyer *et al.*, 2007 ; Wipfli, 2007) et la qualité physico-chimique des eaux (Meyer *et al.*, 2003 ; Alexander *et al.*, 2007 ; Wipfli, 2007). D'autre part, ces ruisseaux abritent les habitats les plus diversifiés de l'ensemble du réseau hydrographique (Meyer *et al.*, 2007 ; Clarke *et al.*, 2008) et accueillent par ailleurs un bon nombre d'espèces endémiques (Lowe & Likens, 2005 ; Meyer *et al.*, 2007). Ces systèmes assurent par ailleurs un fort lien biologique entre l'amont et l'aval (MacDonald & Coe, 2007), assurant de ce fait une connectivité qui permet aux espèces de coloniser et de maintenir leur diversité (Allan, 1995 ; Meyer *et al.*, 2007 ; Lake, 2003).

1.4. Des systèmes peu connus et vulnérables

En dépit de leur importante contribution dans le maintien de la diversité et du fonctionnement de l'ensemble de l'hydrosystème, les cours d'eau en tête de bassin versant sont de nos jours encore mal connus. Ils possèdent une définition juridique claire mais jurisprudentielle (Mathieu, 2010), ne présentent pour la majorité pas de toponyme (Le Bihan, 2009) et ne sont souvent pas pris en compte sur les cartographies (Leopold, 1964 in Nadeau & Rains, 2007). De ce fait, certains auteurs les qualifient d'« aqua incognita¹ » (Bishop *et al.*, 2008).

Outre la négligence pour ces systèmes, les cours d'eau en tête de bassin versant font l'objet de nombreuses menaces d'origines anthropiques (Meyer & Wallace, 2001). Ces pressions ont d'autant plus d'impacts du fait qu'elles agissent sur des milieux biologiquement vulnérables et morphologiquement fragiles (Mathieu, 2010). Ainsi l'urbanisation (Navratil *et al.*, 2012), les enterrements de cours d'eau (Elmore & Kaushal, 2008 ; Le Bihan, 2009 ; Mathieu, 2010), la création de plans d'eau (LIFE, 2009), l'exploitation des forêts (Schneider, 2007) et les pratiques agricoles modernes (Renard, 2002) sont autant de pressions qui induisent de fortes dégradations pour ces systèmes. Par conséquent, dans certains bassins, moins d'1% des têtes de bassins versant seraient restées intactes (Rheinhardt, 1999). Avec ce constat, il est difficile de s'imaginer à quoi ressembleraient les cours d'eau avant perturbation. Pourtant, afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement de ces systèmes et faciliter leur restauration, il est indispensable de s'appuyer sur des systèmes dits de référence : des cours d'eau représentatifs de leur environnement naturel local et n'étant peu ou pas exposés aux pressions anthropiques (Yates & Bailey,

¹ Terme pouvant se traduire par «eaux inconnues »

2009). Trois critères principaux caractérisent la référence d'un cours d'eau : la physico-chimie, la biologie et l'hydromorphologie (Sanchez-Montoya *et al.*, 2009).

2. L'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant

2.1. Contexte et définition

Depuis le début des années 1990, les études sur la qualité de l'eau se sont principalement faites en se basant sur les paramètres physico-chimiques (Hering *et al.*, 2003). Or un constat réalisé sur les différents bassins versant français en 2004 a mis en évidence le constat suivant : au moins la moitié des masses d'eau ne pourront pas atteindre le bon état écologique, en raison, notamment, d'un mauvais fonctionnement des caractéristiques physiques des cours d'eau (IRSTEA, 2013). La prise en compte de l'hydromorphologie devient donc indispensable pour la mise en œuvre et l'atteinte des objectifs fixés par la DCE.

Du Grec « *Hydro* » (eau), « *Morpho* » (forme) et « *Logos* » (étude) ; l'hydromorphologie des cours d'eau désigne l'étude des formes qui résultent des processus physiques régissant le fonctionnement des cours d'eau, ainsi que des pressions exercées par les hommes sur ces milieux (Malavoi & Bravard, 2010 ; IRSTEA, 2013). Malgré sa récente prise en compte dans les textes (DCE, LEMA), Cette ancienne discipline de recherche (Wolman, 1954, 1955 ; Strahler, 1957 ; Schumm, 1960 ; Leopold *et al.*, 1964) s'avère être depuis quelques années un élément clé dans la détermination de la qualité des cours d'eau.

2.2. Connaissances hydromorphologiques

2.2.1. Les cours d'eau en tête de bassin versant

L'hydromorphologie bénéficie d'un appui bibliographique solide sur moyens et grands cours d'eau (Petit *et al.*, 2005 ; Malavoi & Bravard, 2010 ; Elosegi *et al.*, 2010) et beaucoup d'efforts au niveau de l'évaluation et la restauration ont été portés sur les cours d'eau principaux. Or, malgré toutes ces connaissances, peu d'entre-elles traitent avec spécificité de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant, et les seules sources bibliographiques disponibles sont à ce jour issues de travaux expérimentaux (Rheinhardt *et al.*, 1999 ; Benda *et al.*, 2005 ; Fritz *et al.*, 2006 ; Mathieu, 2010 ; Berkowitz, 2011).

Au vu du peu de bibliographie dont nous disposons, il semble donc inéluctable de s'appuyer sur les connaissances hydromorphologiques des cours d'eau d'ordres supérieurs et de les transposer aux plus petits systèmes. Ce choix est justifié par une loi fondamentale de proportionnalité du fonctionnement des processus hydromorphologiques des cours d'eau (Malavoi & Bravard, 2010). Cette loi stipule que malgré les variabilités spécifiques et fonctionnelles des cours d'eau, les caractéristiques des variables influençant

l'hydromorphologie sont identiques pour chacun d'entre eux. Ainsi, un ruisseau d'1m de largeur est censé doit répondre aux mêmes lois morphodynamiques qu'un cours d'eau d'une largeur de 10m.

2.2.2. Les cours d'eau d'ordres supérieurs

Les cours d'eau sont des systèmes naturels évolutifs conditionnés par l'interaction d'une série de composantes dans le temps et l'espace (Elosegi *et al.*, 2010). Dans des conditions naturelles constantes, les cours d'eau tendent à établir une combinaison « dynamiquement stable » entre leurs différentes variables constitutives : les variables de contrôle et les variables de réponse (Malavoi & Bravard, 2010).

Les variables de contrôle s'imposent directement à la rivière, régissent les processus dynamiques et contrôlent l'évolution physique du cours d'eau. Il existe deux types de variables de contrôle : les variables de contrôle essentielles (le débit liquide (Q) et le débit solide (Q_s)) ainsi que les variables de contrôle secondaires (la pente de la vallée, la granulométrie et la végétation des berges) (Pinto-Martins, 2008). C'est à l'échelle du bassin versant que s'expriment les deux variables de contrôle essentielles. Elles sont elles-mêmes sous l'influence du climat, de la géologie et de la structure végétale, qui conditionnent la formation et la transmission des flux d'eau et de matière (Malavoi & Bravard, 2010).

Les variables de réponse sont quant à elles des variables dépendantes, qui vont permettre à la rivière de s'ajuster aux mutations des variables de contrôle. Elles sont au nombre de quatre : la largeur plein bord, la hauteur du plein bord, la sinuosité et la pente moyenne du lit (Pinto-Martin, 2008 ; Malavoi & Bravard, 2010).

Les processus d'entrée et de sortie des débits liquide et solide déterminent l'état « d'équilibre dynamique » des cours d'eau. Lane (1955) exprime que le rapport entre débit liquide et le transport solide est responsable de l'état d'équilibre des cours d'eau. Cette relation constitue un principe d'autorégulation des écoulements : si une ou plusieurs variables sont modifiées, il se produira nécessairement des changements sur une ou toutes les autres variables de façon à rétablir l'équilibre entre les processus d'érosion, de transport et de sédimentation (Leopold *et al.*, 1964 ; Schumm, 1971 ; Malavoi *et al.*, 1998 ; Pinto-Martins, 2008) (cf. figure 2).

A travers ces processus morphologiques, plusieurs études ont soulevé l'existence de grandes règles morphodynamiques, vérifiables pour la majorité de systèmes fluviaux, quel que soit leur taille :

- ✓ Les systèmes fluviaux sont fortement gouvernés par la nature du bassin versant (Hynes, 1975 in Chaves *et al.*, 2006).
- ✓ Il y a relation entre la valeur du débit à plein bord et la taille du bassin versant (Petit & Daxhelet, 1989 ; Petit *et al.*, 2005 ; Malavoi & Bravard, 2010).

- ✓ Les cours d'eau dont la puissance spécifique² est inférieure à 35W/m² sont incapables d'un auto-ajustement en réponse à des aménagements ou des contraintes extérieures. Par contre, les rivières où la puissance dépasse les 100W/m² ont une dynamique de modification du tracé fort, qui peut aboutir à la multiplication de chenaux (Petit *et al.*, 2005 ; Malavoi & Bravard, 2010).
- ✓ Largeur et hauteur plein bord sont étroitement associées aux paramètres sédimentologiques du cours d'eau (Roberts, 1989).
- ✓ Il y a dépendance du débit avec la taille du matériel qui constitue le fond (Petit & Daxhelet, 1989).
- ✓ Les cours d'eau à granulométrie fine sont généralement plus profonds. En revanche, une granulométrie grossière entraîne une profondeur moindre du cours d'eau, ainsi qu'une tendance à l'élargissement (Petit *et al.*, 2005).
- ✓ La structure et la composition de la ripisylve joue un important contrôle sur les processus géodynamiques, notamment par une protection mécanique des berges et un rôle stabilisateur des processus d'érosion latérale (Malavoi & Bravard, 2010).

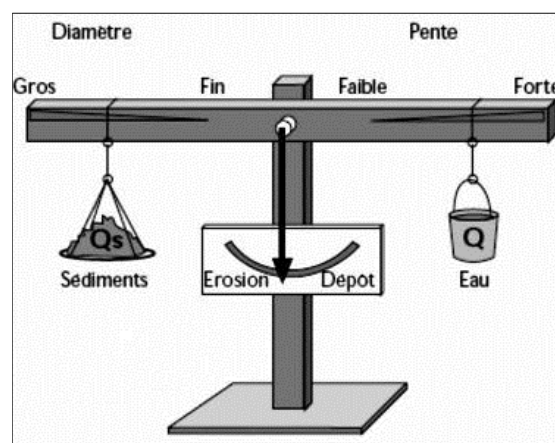


Figure 2 : Balance de Lane, illustrant le principe d'équilibre dynamique (Lane, 1955 ; adapté par Pinto-Martins, 2008).

2.3. Outils d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau

2.3.1. Variables issues des protocoles adaptés au cours d'eau en tête de bassin

Depuis son émergence, la recherche s'est particulièrement intéressée à l'hydromorphologie en s'axant sur des cours d'eau de moyennes à grandes tailles (Lane, 1955 ; Schumm, 1971), oubliant ainsi les plus petits systèmes (cf. 2.2.1.). De ce fait, très peu d'études hydromorphologiques spécifiques aux cours d'eau en tête de bassin versant existent de nos jours. Malgré cela, quelques protocoles expérimentaux d'évaluation pour ces cours d'eau subsistent au niveau international (Fritz *et al.*, 2006 ; Berkowitz, 2011) et national (Mathieu, 2010 ; Hayot, 2011).

² Produit de la pente et du débit, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau.

Plusieurs volets de notre étude se sont alors inspirés de ces protocoles non standardisés³ :

- **Délimitation de la station d'étude** : Inspirée des travaux de Mathieu (2010) puis adaptée suite aux retours d'expériences.
- **Qualification du niveau d'intermittence des écoulements** : Fritz *et al.* (2006) propose 5 catégories afin de qualifier l'intermittence des écoulements : L'écoulement continu, l'écoulement visible et interstitiel, la présence de surface en eau mais avec une absence d'écoulement, la présence de surface en eau dans les profonds uniquement et l'absence d'eau visible dans le cours d'eau.
- **Mesures des gabarits du lit** : Hauteurs, largeurs et périmètres à plein bord sont mesurés, d'après Mathieu, 2010 (Ces travaux s'inspirent également du protocole de CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau (CARHYCE)).
- **Mesure de la sinuosité et de la pente** : D'après les travaux de Mathieu (2010).
- **Description de la ripisylve** : Adaptée des travaux de Hayot (2011).

2.3.2. Variables issues des protocoles adaptés aux cours d'eau d'ordres supérieurs

Il existe de nombreux protocoles d'étude de l'hydromorphologie des cours d'eau de moyennes à grandes tailles. Ces protocoles peuvent être de niveau international (River Habitat Survey (RHS), Habitat Quality Assessment (HQA), Habitat Modification Score (HMS)) ou national (Réseau d'Evaluation des Habitats (REH)). En France, des protocoles hydromorphologiques relativement récents se sont développés à l'échelle de la station (CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau (CARHYCE) pour les cours d'eau moyens prospectables à pied ; CARHYCE grand milieu pour les grands cours d'eau non prospectables à pied) et du tronçon (SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH), Audit Rapide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (AURAH-CE). Tous ces protocoles, aussi variés qu'ils soient, permettent d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau.

En s'appuyant sur la loi de proportionnalité du fonctionnement des processus hydromorphologiques des cours d'eau (2.2.1.) Plusieurs volets de notre étude s'inspirent directement de l'ensemble de ces travaux. Les voici cités ci-dessous :

- **Caractéristiques du tronçon** : D'après le protocole RHS.
- **Evaluation des faciès d'écoulements** : Inspirée de la clé de détermination des faciès d'écoulements des cours d'eau (Malavoi & Souchon, 2002).
- **Mesures du gabarit du lit** : Inspirées du protocole CARHYCE.

³ Nous recensons ici les sources bibliographiques de chaque volet utilisé dans notre étude. Les détails méthodologiques du protocole seront apportés dans le volet « méthodologie ».

- **Mesures granulométriques** : Inspirées des travaux de Wolman (1954) et du protocole CARHYCE. L'échelle granulométrique prise en compte dans ce volet est issue de classification de Wentworth (1922) modifiée, dans Malavoi et Souchon (1989).

2.3.3. Variables complémentaires d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin

Afin d'apporter des informations supplémentaires à la caractérisation du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant, des variables complémentaires ont été ajoutées au protocole d'étude :

- **Estimation du coefficient de rugosité** : Egalement appelé coefficient de Manning-Strickler, cette variable rentre dans le calcul des débits à plein bords du cours d'eau. Ce coefficient a été calculé grâce à la méthode de Cowan (1956) (détail des formules au point 3.5.5. du volet « méthodologie »).
- **Evaluation des zones humides** : Janish *et al.*, 2012 mettent en évidence des interactions abondantes entre zones humides et cours d'eau en tête de bassin versant. Ils montrent par ailleurs que 66% de ces cours d'eau possèdent au moins une zone humide, d'une taille généralement inférieure à 200m².
- **Evaluation du bois en rivière** : Le bois en rivière est un élément clé du fonctionnement écologique des eaux (Albert, 1998 ; Boyer, 1998 ; Thevenet 1995, d'après Moulin, 2005). Il est relativement abondant au sein du réseau hydrographique, en particulier dans les petits cours d'eau où il peut recouvrir 50% du chenal. Les bois en rivière présentent de nombreux rôles géomorphologiques et écologiques (Brooks *et al.*, 2001). Le protocole établi pour l'étude de ce volet s'est alors inspiré des études effectuées sur les bois en rivière pour les cours d'eau de rang 1 (Piégay & Gurnell, 1997 ; Curran & Wohl, 2003 ; Kraft & Warren, 2003 in Moulin, 2005) ainsi que des travaux de Wallerstein *et al.* (1997) sur les relations fonctionnelles du bois en rivière dans la morphologie du chenal.

3. La référence

3.1. Définition et caractéristiques de la référence

Alors que les écosystèmes et leur bon fonctionnement constituent un enjeu non seulement environnemental, mais aussi économique et social, ils ont subi et subissent des dégradations et détériorations du fait des activités humaines et des aménagements réalisés. Plusieurs approches existent pour rétablir un environnement naturel : soit en tentant de revenir à l'écosystème tel qu'il était avant ces dégradations, soit en créant un nouvel écosystème durable (Aronson *et al.*, 1995 ; Laugier, 2012). Ces deux approches, aussi différentes qu'elles soient, nécessitent toutes deux de disposer dès le départ d'une norme de comparaison et d'évaluation : la référence.

Beaucoup de points de vue différents sur ce que constitue vraiment ce terme (Reynoldson & Wright, 2000 ; Bailey *et al.*, 2004 ; Stoddard *et al.*, 2006). Néanmoins, un bon nombre d'auteurs s'accordent à définir un milieu de référence comme « un écosystème historique, pas ou peu perturbé, représentatif de son environnement naturel local » (Chaves *et al.*, 2006 ; Stoddard *et al.*, 2006 ; Sanchez-Montoya *et al.*, 2009 ; Yates & Bailey, 2009). Le caractère « historique » précisé dans la définition décrit les conditions du cours d'eau dans le passé. Cette période, pouvant changer selon certaines régions, se nomme l'« agriculture pré-intensive » et correspond généralement à une époque précédant les grands changements agricoles, vers la fin du XIX^{ème} siècle (Walli *et al.*, 2003 in Stoddard *et al.*, 2006). Cette période peut néanmoins varier selon les pays (Stoddard *et al.*, 2006). La caractéristique « pas ou peu perturbé » exprime quant à elle le fait qu'idéalement, la référence ne doit pas présenter de perturbations. Dans la pratique, ces conditions sont rares et il est accepté qu'un système puisse présenter de légères perturbations, tant qu'un très bon état écologique est encore assuré (Economou, 2002 ; Wallin *et al.*, 2003 ; Bailey *et al.*, 2004 ; Stoddard *et al.*, 2006 ; Sanchez-Montoya *et al.*, 2009).

3.2. Méthode de recherche de stations de référence

Il existe des guides pour l'identification des écosystèmes de référence (Hughes *et al.*, 1986 ; Hughes, 1995) mais ceux-ci sont vagues sur les techniques utilisées pour identifier les sites "candidat" à la référence. Il convient donc de s'appuyer sur des protocoles expérimentaux.

La plupart des écosystèmes lotiques sont fortement gouvernés par la nature du bassin versant (Hynes, 1975). De ce fait, une étude à partir de ces compartiments est réalisée afin d'identifier des écosystèmes de référence (Chaves *et al.*, 2006 ; Yates & Bailey, 2009). Elle se base sur l'occupation du sol du bassin versant (Sanchez-Montoya *et al.*, 2009). Une délimitation des surfaces de drainage pour chaque cours d'eau est réalisée, puis, à l'aide du Corine Land Cover, les pourcentages d'occupation du sol pour chaque bassin versant est calculé. Les résultats obtenus permettront de déterminer les niveaux de pressions des cours d'eau en fonction du type d'occupation qu'ils présentent (Chaves *et al.*, 2006 ; Sanchez-Montoya *et al.*, 2009). D'après le protocole réalisé par Sanchez-Montoya *et al.* (2009), les cours d'eau doivent présenter une surface minimum d'occupation « naturelle » des sols (autres que des zones agricoles, urbaines, sylvicoles ou industrielles) supérieure à 80% du bassin versant.

Suite à cette présélection, des critères de terrain sont pris en compte afin de finaliser la sélection. Un cours d'eau sera alors qualifié de référence, s'il possède l'ensemble de ces principaux critères :

- ✓ Un recouvrement et une composition végétale appropriée au type de cours d'eau et à sa région (Barbour *et al.*, 1996 ; Wallin *et al.*, 2003).
- ✓ L'absence d'espèces exotiques, qu'elles soient animales ou végétales (Bonada *et al.*, 2004).
- ✓ L'absence de drains et d'effluents (Wallin *et al.*, 2003 ; Nijboer *et al.*, 2004).
- ✓ Une continuité écologique entre l'amont et l'aval (Wallin *et al.*, 2003).

- ✓ Une connectivité latérale avec la zone riparienne (Wallin *et al.*, 2003).
- ✓ L'absence d'extraction de granulats (Davies, 1994).
- ✓ Un substrat représentatif du type du cours d'eau et de sa région (Barbour *et al.*, 1996).
- ✓ L'absence de réservoirs (barrages, étangs...) sur et en amont du site (Hering *et al.*, 2004).
- ✓ La présence de bois en rivière (Hughes, 1995 ; Barbour *et al.*, 1996 ; Bonada *et al.*, 2004).

Plusieurs de ces principaux critères ont été repris lors de la phase de présélection des cours d'eau de tête de bassin versant pour notre étude. Cette phase sera détaillée dans le point « 2 » du volet « description stationnelle, protocole d'étude et méthode d'analyse ».

1. Description stationnelle

1.1. Données administratives et hydrologiques

L'étude s'est portée sur un échantillon de de cours d'eau en tête de bassin versant issus du territoire de la DIR2. D'une superficie de 59 730 km², la DIR2 regroupe près de 76 000 km de cours d'eau répartis sur 9 départements : L'Ille-et-Vilaine (35), Les Côtes d'Armor (22), le Finistère (29), le Morbihan (56), la Loire-Atlantique (44), la Vendée (85), la Mayenne (53), la Sarthe (72) et le Maine-et-Loire (49). En s'appuyant sur les travaux d'Alexander *et al.* (2007), plus de 53 000 km² de cours d'eau seraient situés en tête de bassin versant (Rang 1 et 2 de Strahler).

1.2. Pluviométrie

La moyenne pluviométrique annuelle sur ces départements est de 812 mm/an \pm 169 (Données de 2011, source Météo France). Les plus grandes valeurs de pluviométrie sont observées pour le Finistère, la Sarthe et le Morbihan (cf. tableau 1). Malgré l'hétérogénéité des valeurs obtenues au sein des différents départements, la moyenne pluviométrique annuelle obtenue sur la DIR2 est nettement supérieure à celle de la France (650 mm/an ; source Eco-gestion d'habitats).

Tableau 1 : données pluviométriques moyennes de l'ensemble des départements de la DIR2

	Dep.22	Dep.29	Dep.35	Dep.44	Dep.49	Dep.53	Dep.56	Dep.72	Dep.85	France
Pluviométrie moyenne annuelle (mm/an)	736	1203	710	769	667	740	898	687	901	650

1.1. Hydroécotérritoires

L'approche par hydroécotérritoires permet de délimiter des entités géographiques dans lesquelles les cours d'eau présentent des caractéristiques communes. Cette approche est basée sur la géologie, le relief et le climat. Ici, notre territoire recouvre 2 hydroécotérritoires de type 1 (« Massif Armoricain » et « Tables calcaires ») et 7 hydroécotérritoires de type 2 (cf. figure 4).

1.1. Occupation du sol

Le territoire de la DIR2 montre une nette dominance agricole (64%) dans l'occupation des sols. Les prairies et forêts représentent également une surface importante (respectivement 21 et 9%) (Source : Corine Land Cover simplifiée).

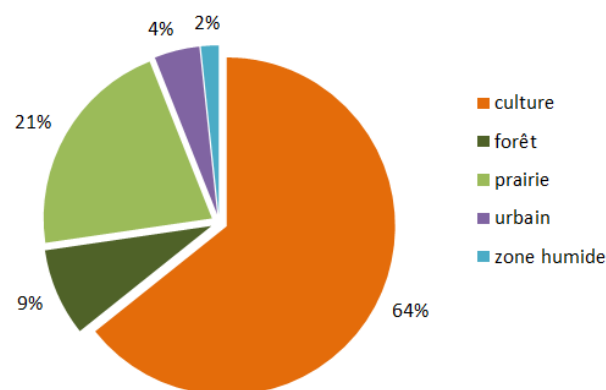


Figure 3 : Occupation du sol sur le territoire de la DIR 2

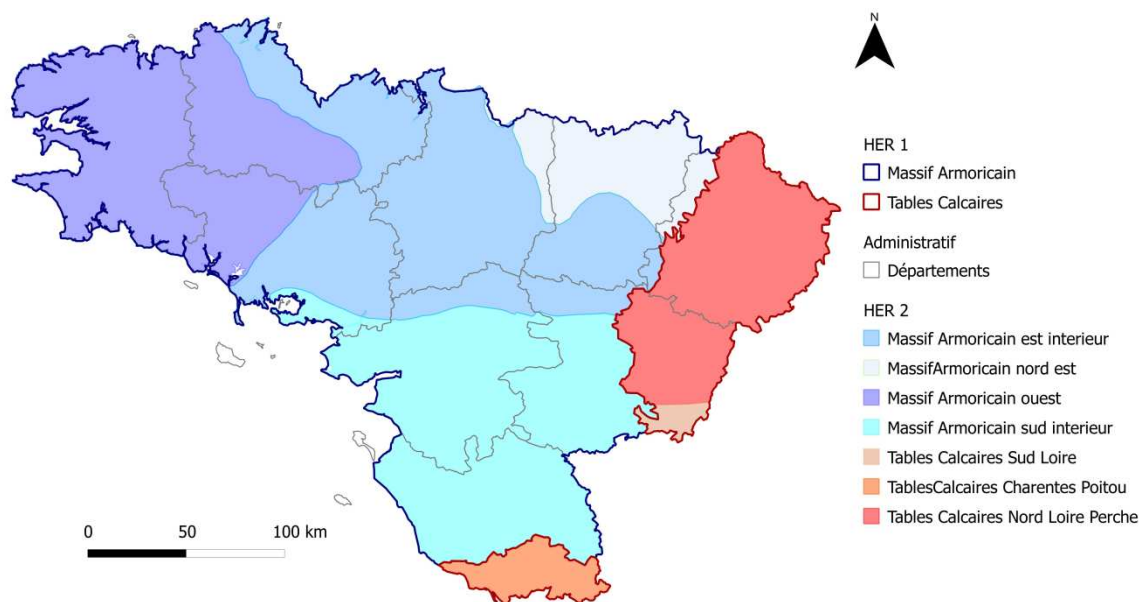


Figure 4 : Répartition des hydroécocorégions de niveau 1 et 2 sur le territoire de la DIR2.

2. Sélection des cours d'eau « candidats » à la référence

2.1. Contexte

Face à l'important linéaire de cours d'eau en tête de bassin versant et au temps limite mis à disposition, nous avons fait appel aux différents Services Départementaux (SD) de la DIR2 afin qu'ils puissent nous faire remonter des cours d'eau de référence. Une couche géographique classifiant les cours en tête de bassin versant selon l'occupation du sol a été générée en vue d'une présélection des cours d'eau de référence.

2.2. Critères de sélection des cours d'eau de référence

Plusieurs critères de sélection ont été fournis aux SD pour la recherche des cours d'eau de référence en tête de bassin versant, ils se divisent en 2 axes :

- **Le type de cours d'eau recherché :**
 - Cours d'eau de rang 1 selon la classification de Strahler (IGN)
 - Faible pente (inférieure à 5%)
- **Les conditions d'une situation hydromorphologique de référence :**
 - Zone de prairie ou de forêt (si zone de prairie : présence d'une ripisylve et/ou absence de piétinement sur et en amont de la station)
 - Absence de plantation forestière monospécifique ou non naturelle (exemple : résineux, peupliers...)
 - Absence de busage(s) ou de travaux hydrauliques et/ou en amont de la station
 - Absence de plan(s) d'eau en amont du cours d'eau
 - Absence de drainage latérale

A partir de cette première sélection, une validation a été réalisée à partir des données géographiques afin de s'assurer de la validité et de la bonne représentativité de notre échantillon.

3. Protocole expérimental

3.1. Sélection de l'échantillon d'étude

Sur l'ensemble des retours obtenus par les SD de la DIR2, 142 stations candidates à la référence nous ont été remontées. Il était prévu d'identifier une trentaine de sites de référence, afin d'obtenir un échantillon statistique minimum (Fritz *et al.*, 2006). Pour se faire, nous avons sélectionné aléatoirement, à l'aide du logiciel Excel, 30 stations issues de l'hydroécocorégion « Massif Armoricain » (cf. figure 4). En plus de ces 30 stations, les 6 stations de la Sarthe ont été sélectionnées afin de constituer un jeu de donnée supplémentaire issu d'une autre HER (Tables Calcaires). Seulement 3 des 6 stations ont été prospectées car 3 d'entre elles ne vérifiaient pas les conditions de référence (cf. figure 5b).

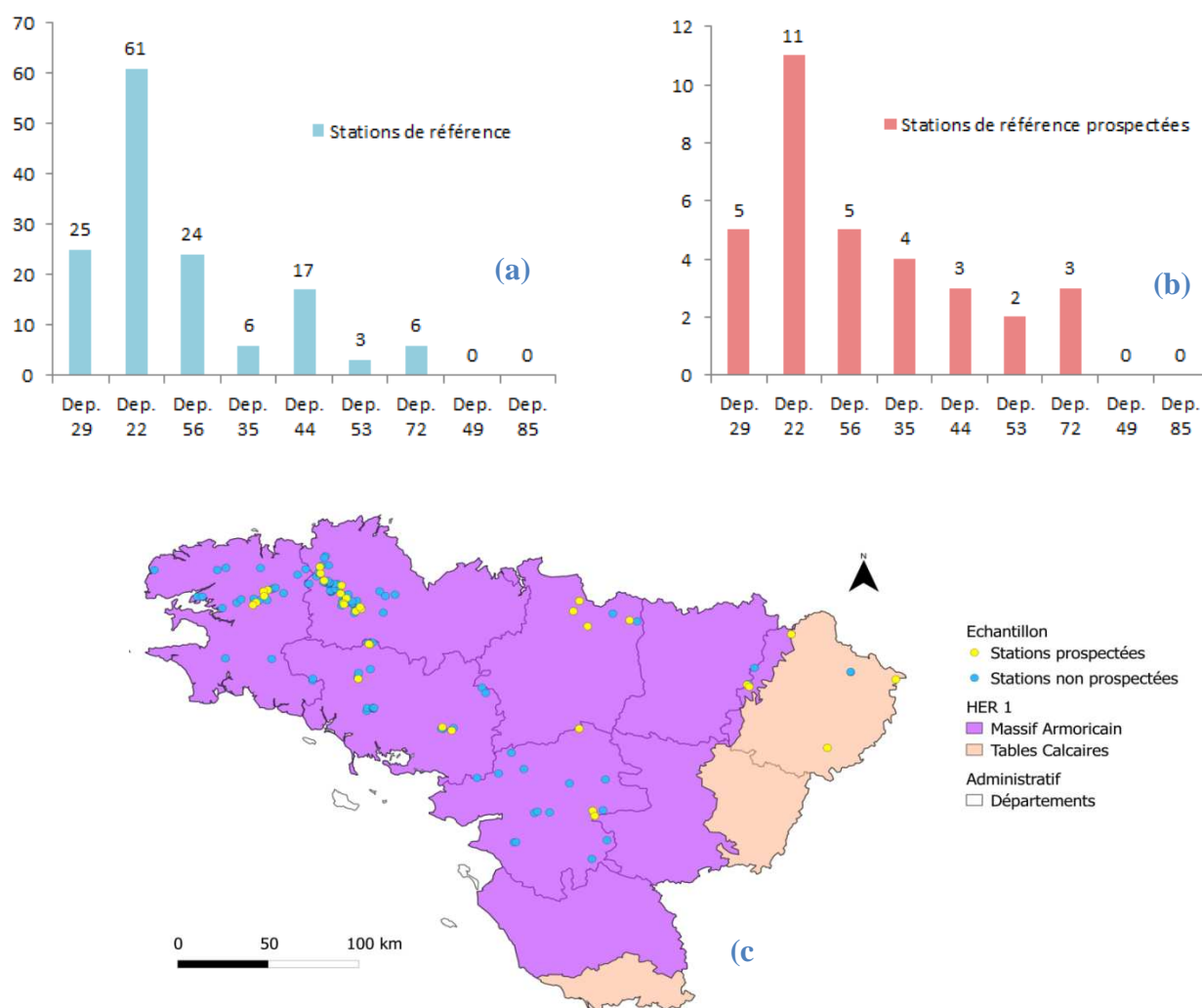


Figure 5 : Distribution des stations de référence remontées (a) et prospectées (b) par département et répartition de ces stations selon les hydroécocorégions de niveau 1 sur le territoire de la DIR2 (c).

3.2. Présentation du protocole d'étude

Le protocole d'étude s'est majoritairement inspiré des travaux d'Aurélia Mathieu en 2010 et du protocole CARHYCE. Ce protocole se divise en deux volets : un volet d'étude des paramètres morphologiques principaux (gabarit du lit, pente, granulométrie) et un volet d'études de paramètres conditionnant indirectement la morphologie du cours d'eau (occupation des sols, zones humides, ripisylve). Il se base principalement sur des données hydromorphologiques quantitatives et limite au maximum le recours à l'appréciation.

3.3. Période d'échantillonnage

Le caractère intermittent d'une grande majorité des cours d'eau en tête de bassin versant nécessite de réaliser des mesures hors périodes d'étiage. De ce fait, la phase de terrain s'est déroulée de mi-avril à mi-juin. En raison du temps de réponse de ces cours d'eau face à un évènement hydraulique, les mesures hydromorphologiques de chaque station se sont effectuées au minimum 5 jours après un évènement pluvieux. Cette contrainte permet de mieux discriminer les faciès d'écoulement qui ont tendance à se lisser lorsque le débit augmente.

3.4. Mesures et précautions d'usage

En dépit de leurs nombreux services écologiques rendus, les cours d'eau en tête de bassin versant sont des milieux biologiquement vulnérables et morphologiquement fragiles (Mathieu, 2010). De ce fait, nous avons respecté certaines mesures de précaution sanitaire lors de l'échantillonnage, tel que limiter les mesures au strict nécessaire dans le lit, éviter le piétinement dans le lit mouillé, éviter l'extraction de bois mort ou encore désinfecter l'ensemble du matériel utilisé après chaque mesure.

3.5. Mesures hydromorphologiques principales

3.5.1. Caractéristiques du tronçon

Le tronçon désigne le linéaire de cours d'eau de rang 1 allant de sa source jusqu'à sa confluence. La forme de la vallée de chaque tronçon est alors caractérisée (cf. figure 5) :

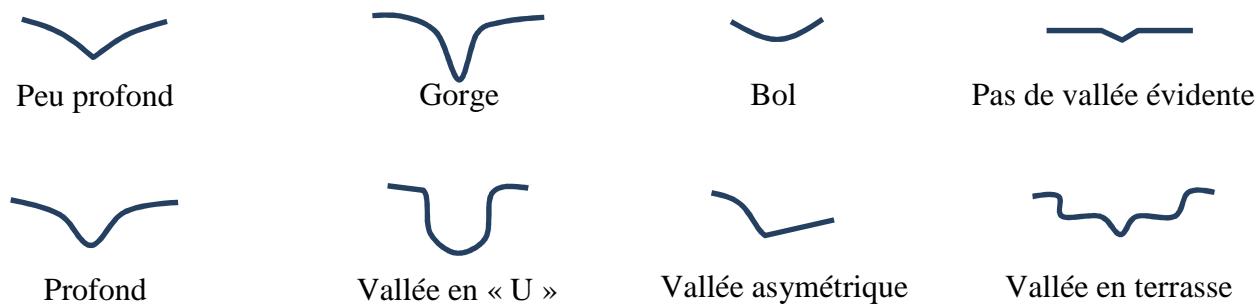


Figure 6 : Représentation des différentes formes de vallées, d'après RHS (2003).

3.5.2. Délimitation de la station

La station correspond à la zone d'échantillonnage. Elle se positionne entre la source et la confluence et doit être représentative du tronçon. Sa longueur est fixée à 30 mètres. Cette distance correspond à la distance écologique, à savoir la distance parcourue par le cours d'eau (cf. figure 7). Un quintuple décamètre et des piquets, plantés à chaque changement de direction du lit, sont nécessaires afin de mesurer cette longueur.

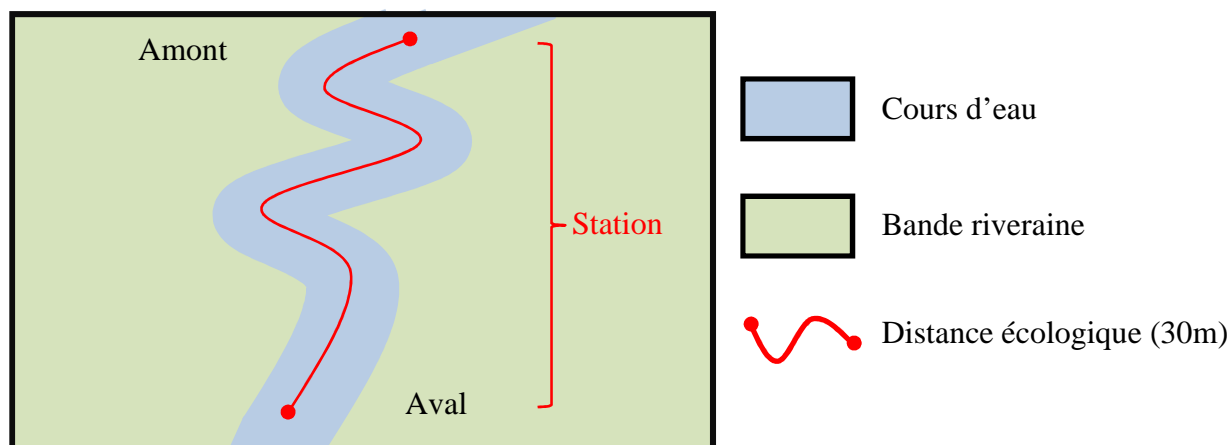


Figure 7 : Station délimitée par la distance écologique (30m).

3.5.3. Niveau d'intermittence des écoulements

5 catégories sont proposées afin de qualifier l'intermittence des écoulements au sein de la station (Fritz *et al.*, 2006) :

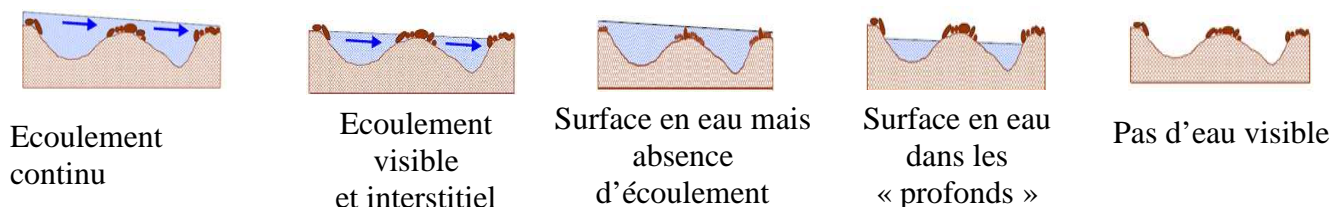


Figure 8 : Illustration des différents types d'écoulement au sein du cours d'eau.

3.5.4. Tracé en plan de la station

Un dessin « vue de dessus » de la station est réalisé. Il permet de mettre en évidence la sinuosité du cours d'eau, montrer les variations de largeur du lit ainsi que de localiser les points de chute naturelle.

3.5.5. Estimation du coefficient de rugosité : méthode de Cowan

L'estimation du coefficient de rugosité (K) est un paramètre clé dans le calcul de la formule de Manning-Strickler permettant d'estimer le débit à plein bord du cours d'eau (Q_{pb}) :

$$Q_{pb} = s \times R h^{2/3} \times i^{1/2} \times K$$

Q_{pb} = Débit du cours d'eau ($m^3 \cdot s^{-1}$)
 S = Section plein bord (m^2)
 Rh = Rayon hydraulique (m) = $\frac{\text{section plein bord } (m^2)}{\text{Périmètre plein bord } (m)}$
 i = Pente de la ligne d'eau (m/m)
 K = Coefficient de rugosité

Le calcul du coefficient K s'effectue à partir de la formule de Cowan :

$$n = [(n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m] \quad \text{avec} \quad K = \frac{1}{n}$$

Les coefficients présents expriment les variables suivantes : le matériau constitutif des berges (n_b), leur degré d'irrégularité (n_1), les variations de la section (n_2), la présence d'obstacles (n_3), la quantité de végétation des berges et du fond du lit (n_4) ainsi que le méandrement (m). Des qualificatifs décrivant chaque variable sont proposés. Comme des valeurs de coefficients sont associées pour chaque qualificatif, il suffit alors d'appliquer la formule à l'aide des valeurs proposées (les tableaux de valeurs pour chaque coefficient sont détaillés en annexe 2).

3.5.6. Mesures du gabarit du lit

Des mesures caractérisant la géométrie du lit (largeur plein bord, hauteur plein bord et périmètre plein bord) ont été effectuées pour chaque site d'étude. Elles nous ont permis d'estimer la section plein bord et le rayon hydraulique du cours d'eau, paramètres nécessaires lors du calcul du débit plein bord (cf. 3.5.5.). Ces mesures ont été réalisées sur 6 transects au sein de la station, répartis tous les 6 mètres. Sur chaque transect, la largeur plein bord (L_{pb}) est mesurée. 5 mesures de hauteur plein bord (H_{pb}) sont ensuite réalisées tous les $1/6^{\text{ème}}$ de largeur plein bord. Pour 16 des 33 sites étudiés, 10 transects supplémentaires reprenant ces mêmes mesures ont été réalisés au sein de la station.

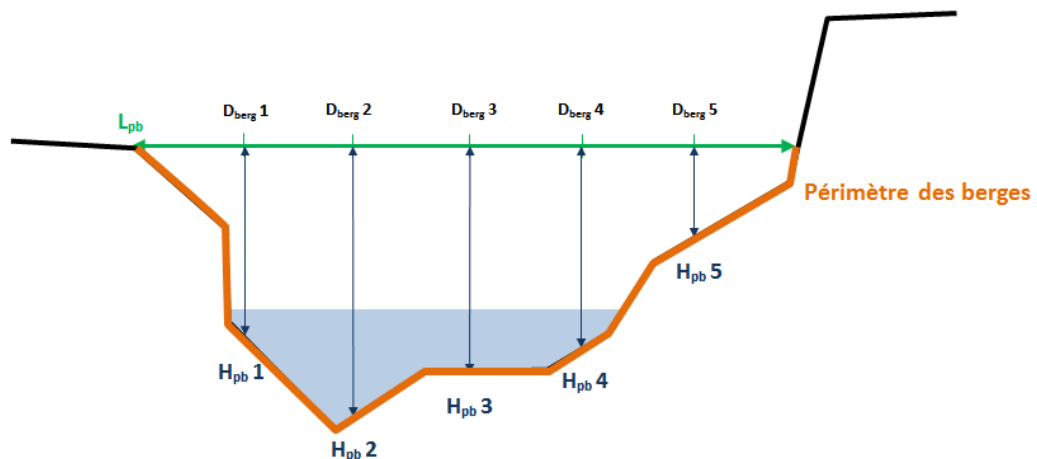


Figure 9 : Détail des mesures granulométriques.

3.5.7. Mesure de la sinuosité

La sinuosité est évaluée au niveau de la station. Elle se calcule en divisant la distance écologique (distance que parcourt le cours d'eau sur notre station, soit 30m) par la distance euclidienne (ligne droite entre le point amont et aval de la station).

3.5.8. Mesure de la pente

La pente mesurée dans ce protocole est celle de la ligne d'eau. En cas d'absence d'eau constaté lors des opérations de mesure, la pente mesurée correspondra à celle du lit. La différence d'altitude entre les points amont et aval de la section est alors mesurée à l'aide d'un théodolite.

3.5.9. Mesures granulométriques

La mesure de la granulométrie s'effectue pour chaque station au niveau d'un radier, qui représente la zone de dépôt de la fraction la plus grossière de la charge alluviale du fond en transit (CARHYCE). 50 prélèvements perpendiculaires à l'axe de l'écoulement sont effectués à chaque 1/10 de la largeur mouillée (en vérifiant que cette distance est supérieure à la granulométrie mobile naturelle la plus grossière du radier – valeur qui doit être la distance minimale à respecter (CARHYCE)).

3.6. Mesures complémentaires

Les différentes variables qui suivent sont observées selon un axe longitudinal et latéral. L'axe longitudinal correspond à la distance écologique de la station (30m). L'axe latéral correspond à une zone tampon située de part et d'autre du cours d'eau, qui peut changer suivant le paramètre étudié. L'ensemble des différentes emprises est détaillé dans la figure 11.

3.6.1. Occupation du sol de la bande riveraine (15m par rive)

L'occupation du sol est un paramètre majeur permettant de caractériser la bande riveraine. Ici, 6 types de sol sont retenus : culture, prairie, forêt, zone urbaine, zone humide ou autre. Il suffit de préciser le type de sol pour chaque berge.

3.6.2. Evaluation des zones humides (15m par rive)

Ce volet permet de relever, à l'échelle du tronçon et de la station, l'ensemble des zones humides observées sur le terrain. Plusieurs paramètres sont mesurés : la position de la zone humide par rapport au

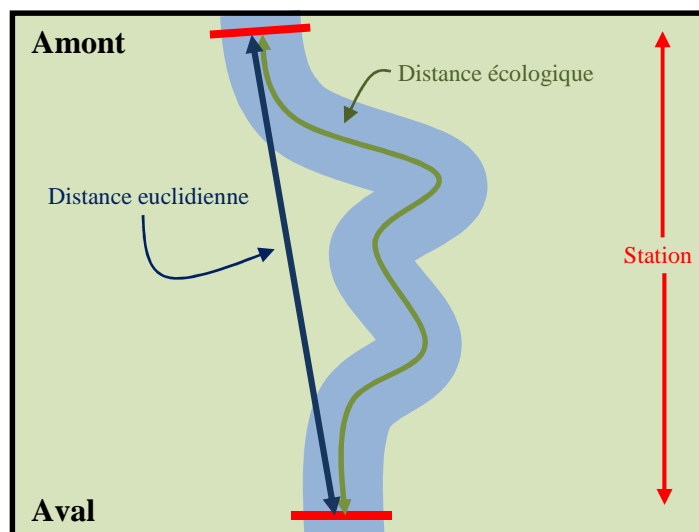


Figure 10 : Mesure de la sinuosité de la station

cours d'eau⁴ (rive gauche ou droite) ; la présence ou l'absence d'eau à la surface de la zone humide ; sa superficie (évaluée d'après le critère botanique) (m²) ainsi que sa connexion avec le lit mouillé.

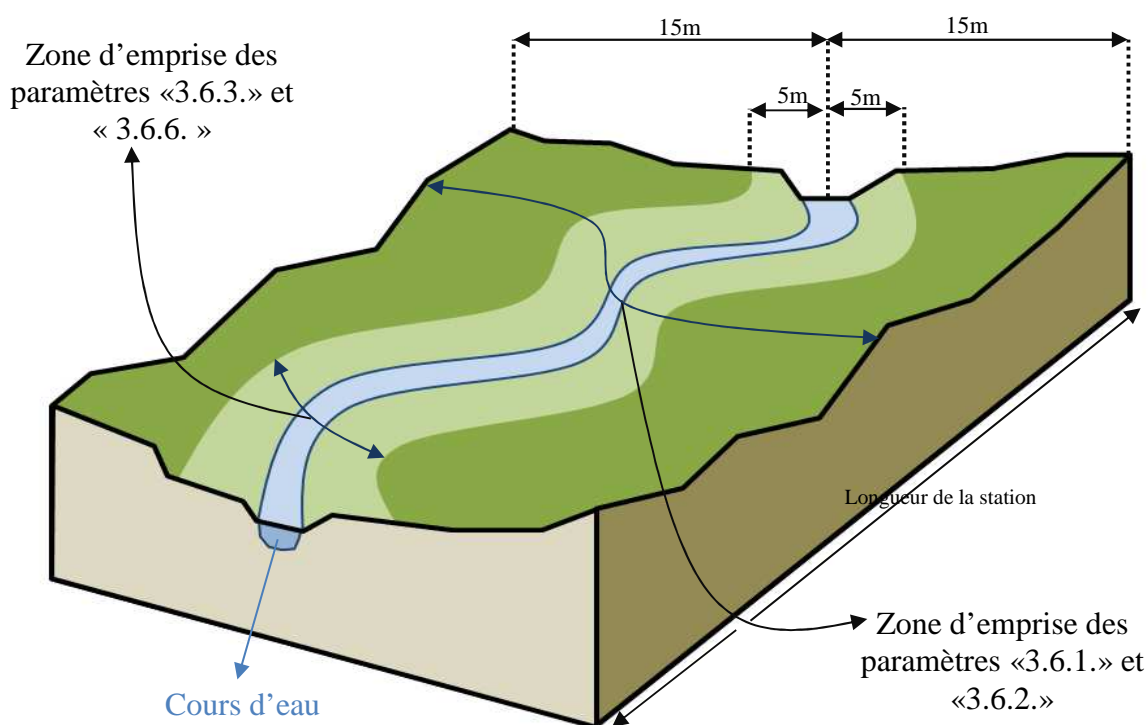


Figure 11 : Zones d'emprise des paramètres complémentaires.

3.6.3. Description de la ripisylve (5m par rive)

L'étude de la ripisylve vise à caractériser sa structure et sa composition. La zone d'étude s'étend sur l'ensemble de la station, sur une largeur de 10m, soit 5m par rive. Plusieurs paramètres sont évalués pour chaque rive : le nombre de strates (arborée, arbustive et/ou herbacée) ; l'épaisseur de la strate arborée ; la distance des arbres au pied de berge ; le nombre d'arbres présentant un chevelu racinaire en pied de berge, la densité d'arbres et le type d'essences présentes.

3.6.4. Bois en rivière

Un volet s'intéressant aux bois en rivière est également pris en compte. Au sein de la station, une comptabilisation de l'ensemble des éléments ligneux supérieurs à 3cm de diamètre est réalisée dans le cours d'eau. Pour chaque élément, sa longueur et son diamètre sont précisés. En plus de ces informations, le rôle morphologique que joue l'embâcle sur le cours d'eau est également noté. Il se base sur la classification de Wallerstein *et al.*, 1997, qui propose 4 relations fonctionnelles du bois en rivière sur la morphologie du chenal (barrage strict, barrage ouvert au fond, entassement déflecteur ou parallèle). Ces rôles sont détaillés dans l'annexe 2.

⁴ La détermination de la rive gauche et droite s'effectue en se positionnant face au cours d'eau, dans le sens de l'écoulement, dos à l'amont. La rive droite sera alors à droite, la rive gauche à gauche.

3.6.5. Eclairage moyen du lit mineur

4 mesures au-dessus du lit, réparties au sein de la station sont prises à l'aide d'un appareil expérimental. Cet appareil mesure le pourcentage d'intensité lumineuse, par rapport à l'intensité maximale de la lumière présente au même endroit et au même moment. La moyenne des mesures par station est alors réalisée afin d'obtenir un éclairage moyen du lit mineur.

3.6.6. Evaluation du volume de litière (5m par rive)

Ce volet permet de mieux appréhender la composition et le volume de litière présent à proximité du cours d'eau. Pour cela, plusieurs informations sont apportées pour chaque rive : la présence / absence d'une litière ; le type de litière (résineux, feuillus ou mixte) ; son épaisseur moyenne ; sa longueur cumulée (limitée à la longueur de la station) ainsi que sa largeur moyenne.

3.6.7. Evaluation des faciès d'écoulement

Ce dernier volet propose de déterminer les faciès d'écoulement de chaque station prospectée. En se basant sur la classification de Malavoi & Souchon (2002), nous avons décidé de différencier 7 faciès d'écoulements distincts : fosse de dissipation (FD), mouille de concavité (MC), plat lentique (PLL), plat courant (PLC), radier (RAD), rapide (RAP), chute (CH). L'ensemble de ces faciès est détaillé dans l'annexe 2.

4. Outils d'analyses

Les données récoltées sur le terrain ont été numérisées par ordinateur. Des calculs de bases (pente, débit, puissance spécifique) ont ensuite été réalisés à l'aide du logiciel Excel. L'ensemble des traitements statistiques (tests, ACP, corrélations et régressions) ont été effectués à l'aide du logiciel R ainsi que du module XLSTAT sous Excel. L'estimation de la surface de bassin versant drainée par chaque station s'est faite à l'aide du script « R topologie hydro » créé par Rémi Nguyen Van (2012), sous le module Grass du logiciel Quantum Gis. L'occupation du sol des bassins versant a été déduite à l'aide du référentiel Corine Land Cover (2006) sous Quantum Gis.

1. Sélection du jeu de données

Les données reposent sur 2 HER de niveau 1. Afin de limiter la variabilité dans la distribution des données, il a été décidé de travailler uniquement sur l'HER la plus représentative du territoire de la DIR2 : le « Massif Armoricain ». Cette HER est composée de 30 stations dans notre étude.

2. Paramètres hydromorphologiques principaux

Nous avons décidé de commencer ce traitement par des variables clés, de contrôle et de réponse, caractérisant l'hydromorphologie du cours d'eau. Afin d'appréhender visuellement la dispersion de ces données, des boîtes à moustaches ont été réalisées pour chacune d'entre-elles (en rouge, au-dessus de chaque boîte : moyenne \pm écart type) :

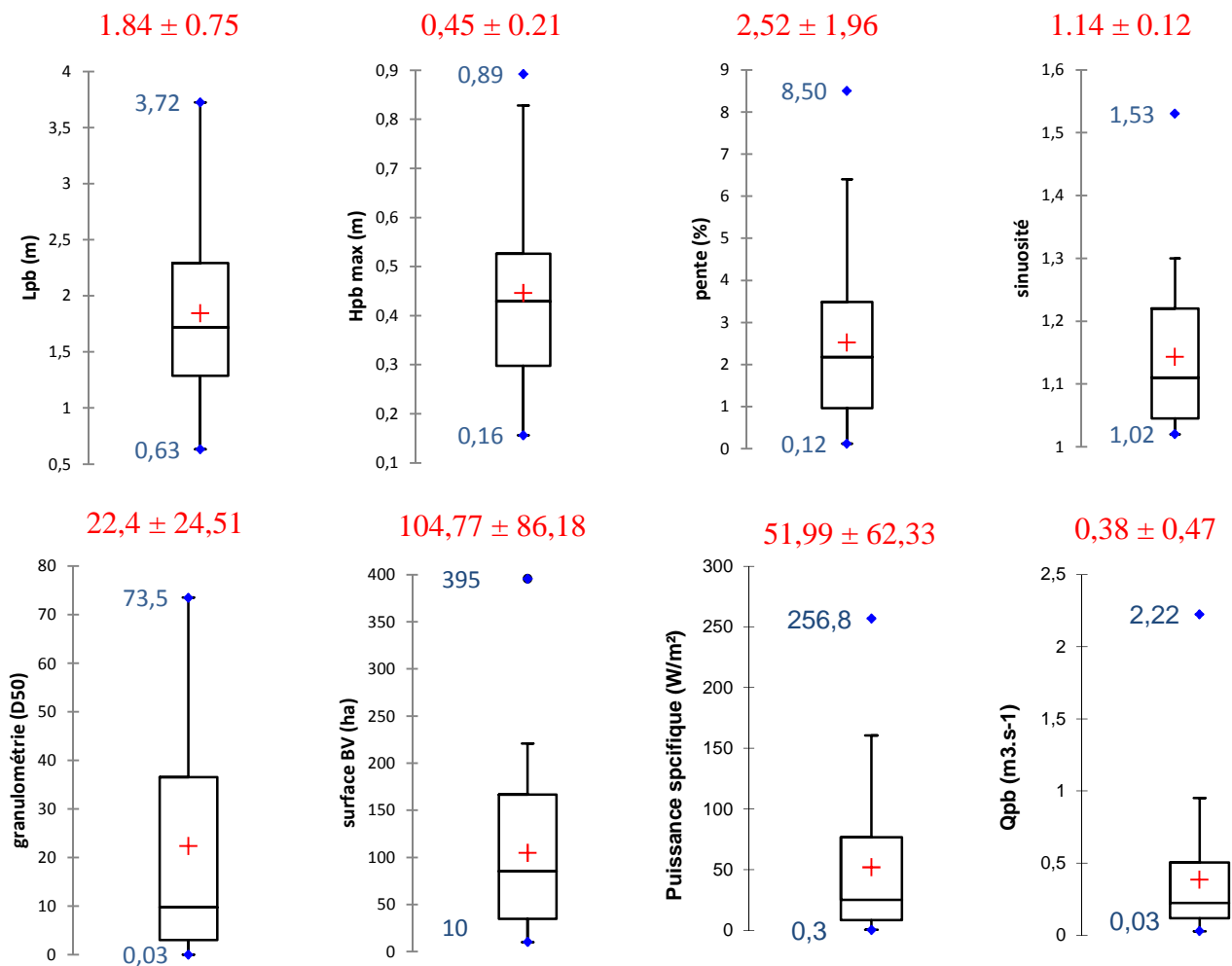


Figure 12 : Boîtes à moustaches des paramètres hydromorphologiques principaux.

Les écarts types et les amplitudes sont particulièrement élevés au sein de l'échantillon. Pour la médiane de répartition de la granulométrie (D50), le débit à plein bord (Q_{pb}) et la puissance spécifique (Ω), l'écart type dépasse même la moyenne. La variabilité au sein des données semble donc relativement importante.

Certaines variables semblent néanmoins majoritairement comprises dans des intervalles restreints (Q_{pb} , sinuosité, pente, hauteur et largeur à plein bord).

Une approche par intervalle de classe a été réalisée pour observer la dispersion de chaque variable (cf. annexe 4). Il s'en dégage les ordres de grandeurs suivant :

Tableau 2: Caractéristiques hydromorphologiques dominantes des cours d'eau issus de l'échantillon.

Variable	Classe la plus présente	Pourcentage de valeurs comprises dans cette classe
Surface du bassin versant	Inférieure à 65 Ha	37%
Débit plein bord	Inférieur à $0.35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	70%
Largeur plein bord	Entre 1,2 et 1,75 m	30%
Hauteur plein bord	Entre 0.21-0.33 m	30%
Sinuosité	Entre 1.05 et 1.25	53%
Pente	Inférieure à 1%	30%
Granulométrie	Inférieure à 12 mm	53%
Puissance spécifique	Inférieure à $35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	53%

2.1. Analyses statistiques

2.1.1. Analyse en composantes principales et classification hiérarchique ascendante

Afin de mettre en évidence des éventuelles relations entre les variables étudiées, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les valeurs centrées réduites (cf. figure 13). A partir des résultats obtenus avec cette ACP, une typologie des cours d'eau présents dans notre jeu de données selon les valeurs prises par les variables considérées a été esquissée. Le « débit à plein bord » (Q_{pb}) et la « puissance spécifique » sont des paramètres issus de calculs faisant intervenir des variables déjà incluses dans l'ACP : la largeur de plein bord (L_{pb}), la hauteur de plein bord ($H_{pb \text{ max}}$) et la pente. Il a donc été décidé de les exclure pour cette analyse. L'hydroécocorégion à laquelle appartient chaque station a été ajoutée comme variable supplémentaire. Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R. Une matrice de corrélation de Spearman (données non paramétriques) a été menée en parallèle afin d'observer d'éventuelles liaisons statistiques entre les différentes variables.

Seul deux axes ont été retenus dans l'ACP. Ils restituent plus de 56% de l'inertie totale. L'axe 1, qui regroupe les variables : L_{pb} , D_{50} , $H_{pb \text{ max}}$ et la surface du bassin versant (S_{bv}), semble représenter le gradient amont aval. L'axe 2, quant à lui, met clairement en opposition la pente avec la sinuosité et le coefficient de rugosité. Les résultats suggèrent une indépendance des valeurs de pente et de sinuosité avec le reste des variables analysées.

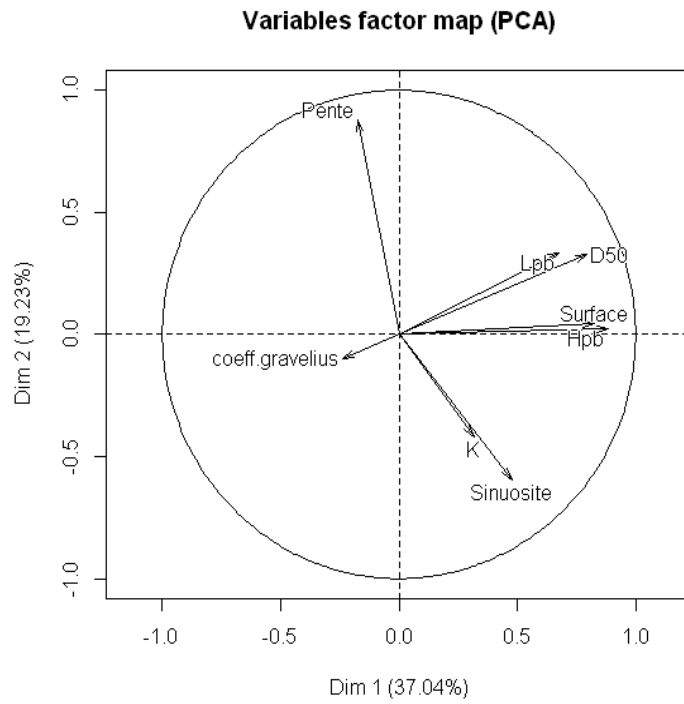


Figure 13 : ACP des variables principales

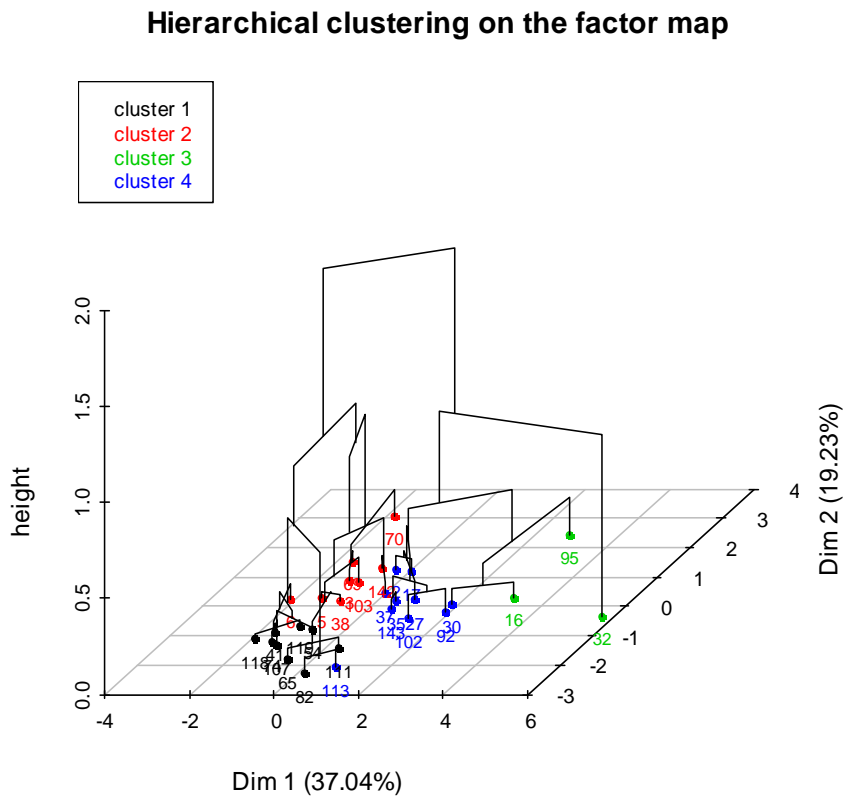


Figure 14 : Représentation selon 3 axes des résultats de la classification hiérarchique ascendante.(Cluster : group)

A partir des données factorielles obtenus avec l'ACP, une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) est réalisée (Cf. figure 14).

Les résultats de la CHA permettent de distinguer 4 groupes dans notre jeu de données (figure 15).

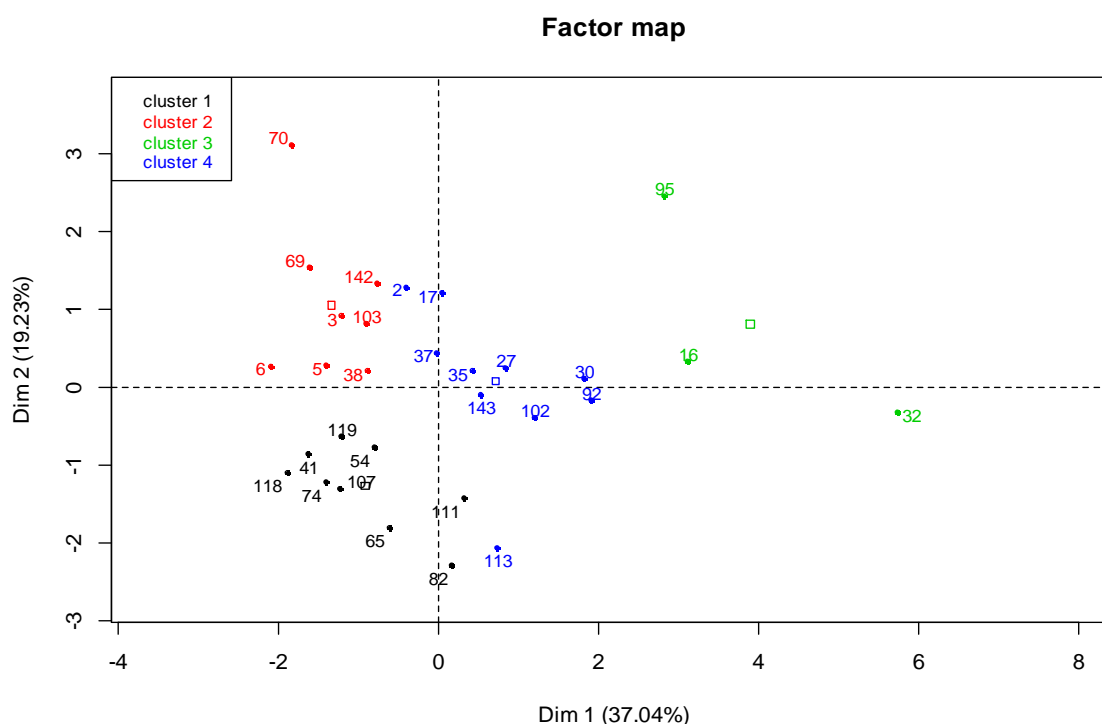


Figure 15 : Répartition des stations selon deux axes factoriels (résultats de l'ACP) et représentation des groupes définies par la Classification Hiérarchique Ascendante.

L'analyse des résultats de la CHA révèle que les hydro-écorégions influencent fortement la classification des stations (test χ^2 , $p=0,004$). Les variables intervenant le plus dans la formation des groupes sont par ordre d'importance : la hauteur de plein bord, la granulométrie du radier (D50) et la largeur de plein bord (la surface, la pente, la sinuosité et la rugosité interviennent également mais dans une moindre mesure).

Le groupe 1 se compose de 9 stations, toute appartenant à l'hydroécorégion : Massif Armoricaïn Ouest (MAO) et regroupant 47,4% de stations de ce groupe, soit 9 sur 19). Il regroupe les stations ayant une faible pente et une sinuosité relativement importante.

Huit stations forment le groupe 2. 5 (sur un total de 6) sont de l'hydroécorégion Massif Armoricaïn Est Intérieur (MAEI) et 3 appartiennent à la région MAO. Ces stations ont tendance à avoir une pente supérieure à la moyenne et à l'inverse, une sinuosité, une rugosité et une hauteur de plein bord plus faible.

Le groupement 3 est constitué de 3 stations ayant des caractéristiques très particulières dans notre jeu de données : largeur et hauteur de plein bord plus importantes.

Le quatrième groupe est constitué de 10 stations (les 3 stations du Massif Armoricaire Nord-Est (MANE) de notre jeu de données, la station Massif Armoricaire Sud Intérieur (MASI) de notre jeu et 3 MAO). Elles se caractérisent par une rugosité, une granulométrie du radier (D50) et une hauteur plus importante.

Le tableau 3 résume les principales caractéristiques des groupes.

Tableau 3 : Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique– principales caractéristiques des groupes. + : valeur de la variable supérieure à la moyenne du jeu de données, - : valeurs prises par la variable Inférieure à la moyenne. MAO : Massif Armoricaire Ouest, MANE : Massif Armoricaire Nord Est, MASI : Massif Armoricaire Sud Intérieur, MAEI : Massif Armoricaire Est Intérieur.

	Nombre de stations	Pente	Sinuosité	Rugosité (K)	Hauteur plein bord	Granulométrie radier (D50)	Hydro-écorégion
Groupe 1	9	-	+				MAO : 9
Groupe 2	8	+	-	-	-		MAO : 3 / MAEI : 5
Groupe 3	3			+	+	+	MAO : 2 / MASI : 1
Groupe 4	10	+	+	+	+	+	MAO : 6 / MAEI : 1 / MANE : 3

2.1.2. Analyses complémentaires

Afin de poursuivre nos résultats, des analyses complémentaires de type corrélation ont été menées. Lorsqu'elles s'avèrent significatives, des régressions ont par la suite été réalisées, afin de valider les éventuelles relations de causalité entre les différentes variables hydromorphologiques principales. Au préalable à ces calculs, un test de normalité des données a été effectué (Shapiro). Il est constaté que toutes les variables, exceptée la largeur plein bord, ne suivent pas une loi normale. Il en sera tenu compte dans le choix des tests statistiques (non paramétriques).

Tableau 4 : Détail des résultats issus des corrélations et régressions linéaires de plusieurs variables principales.

Variabes étudiées	Coefficients de corrélation (Spearman)	Valeurs de P-value pour la corrélation	Valeurs de R ²	Valeurs de P-value pour la régression
Pente et sinuosité	-0.570	0.001	0.223	0.008
L _{pb} et S _{bv}	0.474	0.009	0.419	1.10*10 ⁻⁴
H _{pb max} et S _{bv}	0.628	2.76*10 ⁻⁴	0.365	4.07*10 ⁻⁴
L _{pb} /H _{pb} et D50	-0.417	0.023	0.109	2.71*10 ⁻⁴
Pente et S _{bv}	-0.183	0.333	/	/
Sinuosité et S _{bv}	-0.017	0.930	/	/

Au regard de ces résultats, plusieurs affirmations peuvent être faites :

- Malgré une p-value significative pour la régression ($P < 0.05$) la pente ne permet d'expliquer que 22% de la variabilité de la sinuosité, ce qui est relativement faible ($R^2 = 0.223$). La relation entre pente et sinuosité n'est donc pas très fiable.
- L_{pb} et S_{bv} ainsi que $H_{pb\ max}$ et S_{bv} présentent des p-value de régression significatives, ainsi qu'un R^2 acceptable (respectivement 0.419 et 0.365).
- En dépit de p-value de régression significative ($P < 0.05$), le rapport L_{pb} / H_{pb} ne présente pas de relation de causalité avec la granulométrie. En effet, le R^2 de 0.109 est trop faible pour affirmer une liaison fiable entre ces variables.
- Au vu des p-value issues des tests de corrélations (0.333 et 0.930 > 0.05), pente et sinuosité sont indépendantes de la surface du bassin versant.

D'autres analyses ont été menées. Les résultats sont les suivants :

- Il n'y a pas de corrélation entre la puissance spécifique et le rapport L_{pb}/H_{pb} . (p-value = 0.315). Le rapport L_{pb}/H_{pb} est donc indépendant de la puissance spécifique.
- La relation entre le débit à plein bord (Q_{pb}) et la surface de bassin versant drainée n'est pas très robuste dans cet échantillon ($R^2 = 0.183$; p-value = 0.018).

2.2. Comparaison des Q_{pb} de terrain avec des Q_2 de la banque hydro.

A l'aide des données issues de la banque hydrologique, une valeur de débit biennal (Q_2) a été prise pour chaque bassin versant des 30 stations qui composent notre échantillon. Après avoir exprimé l'ensemble des données en Q/km^2 , une comparaison entre les valeurs de débit à plein bord (terrain) et les valeurs de débit biennaux a été faite (cf. annexe 5). Il s'avère que les valeurs de Q_{pb} sont très significativement différentes des valeurs de Q_2 (test de Mann-Whitney, données non paramétriques : p-value < 0.0001).

Afin d'affiner cette analyse, des Q_2 , Q_5 et Q_{10} théorique (basé sur les valeurs de Q_2 , Q_5 et Q_{10} issus de la banque hydrologique) ont été calculé pour les surfaces des 30 stations en tête de bassin versant. Une comparaison de ces débits théoriques avec le débit à plein bord de terrain a par la suite été menée (cf. figure 16).

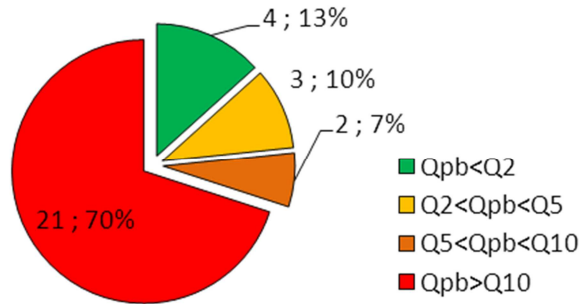


Figure 16 : Comparaison des débits à plein bord de terrain avec des débits biennaux, quinquennaux et décennaux théoriques. (Source hydro.eaufrance)

D'après les résultats obtenus, seul 13% des débits à plein bord présentent des valeurs sous le Q_2 (soit 4 stations sur 30), contre 10% entre le Q_2 et Q_5 (3 stations), 7% entre le Q_5 et Q_{10} (2 stations) et 70% supérieurs au Q_{10} (21 stations). Un constat se dresse : le débit à plein bord, calculé par des variables mesurées lors de la phase terrain, présentent des valeurs bien plus importantes que les débits de crues théoriques pour une même surface. Ces résultats seront discutés ultérieurement en partie « discussion ».

1.1. Coefficient de rugosité

La rugosité est exprimée par un coefficient de rugosité K . Sa détermination est détaillée dans le point 3.5.5. de la partie « description stationnelle, protocole d'étude et méthodes d'analyses ». La boîte à moustache ci-contre montre la dispersion des valeurs de K obtenues sur notre échantillon (En rouge : moyenne \pm écart type). D'après les diverses sources (Degoutte, 2006 ; Ministère de l'Environnement), le coefficient de rugosité d'un cours d'eau naturel oscille de <10 à 30 (cf. Annexe 3). Au vu des résultats obtenues, l'estimation du coefficient K dans cette étude semble relativement bonne.

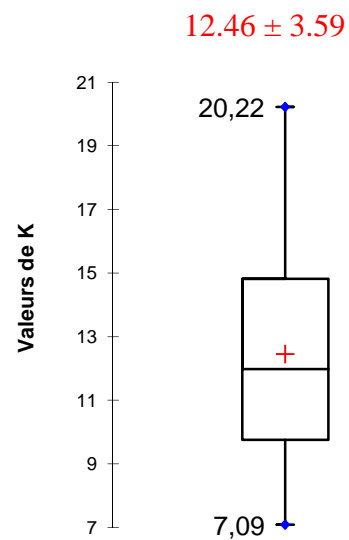


Figure 17 : Dispersion des valeurs de coefficient de rugosité pour les 30 stations étudiées.

3. Paramètres hydromorphologiques annexes

3.1. Occupation du sol

Les surfaces relatives au type d'occupation du sol ont été précisées pour chaque station qui compose l'échantillon d'étude. Les 7 types de sol présents sur la figure 16 sont issus d'une simplification par regroupement de certaines catégories du Corine Land Cover (exemple : Forêt de feuillus, forêts mélangées, forêts de végétation arbustives = forêts).

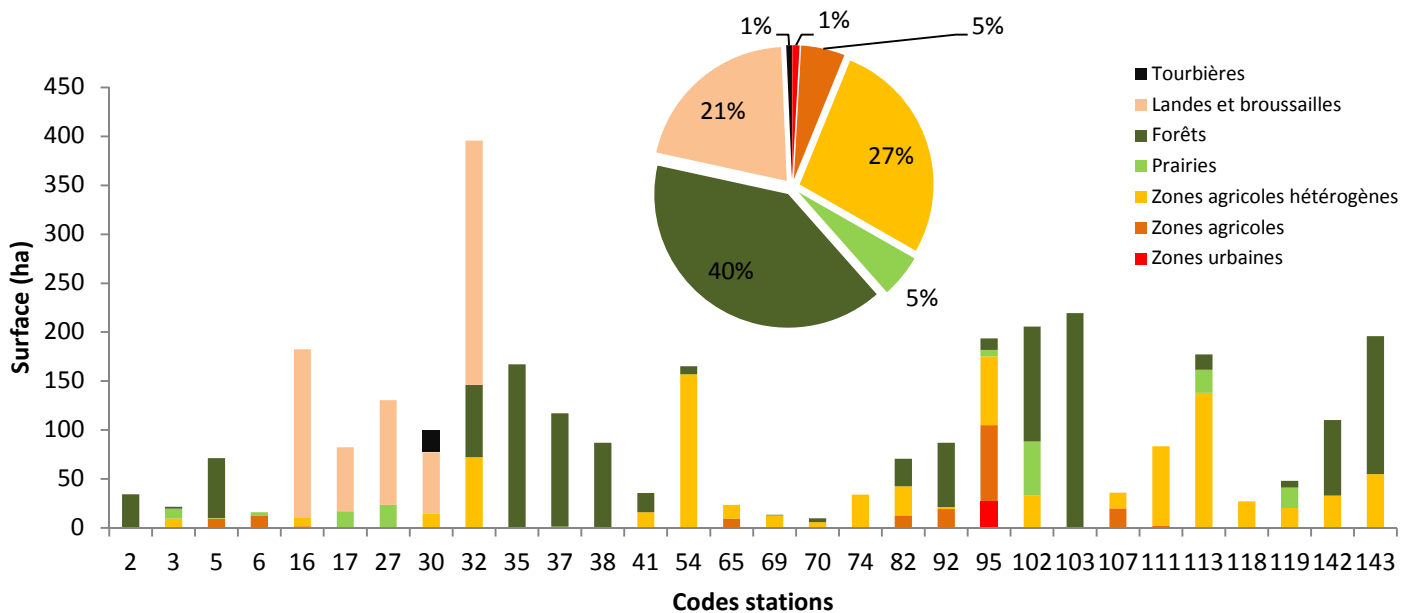
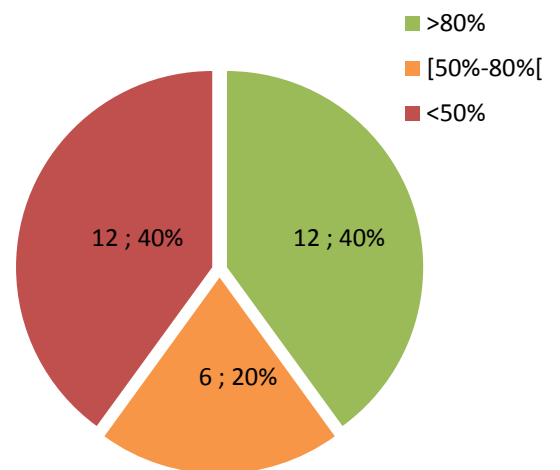


Figure 18 : Types d'occupation de sol, surfaces associées pour chaque station et pourcentage de recouvrement par type de sol pour l'ensemble de l'échantillon d'étude.

D'après le disque de répartition (cf. figure 16), les surfaces naturelles (prairies, forêts, landes et tourbières) représenteraient 67% de l'occupation totale des sols. Cependant, en regardant cette répartition par station (cf. figure 17), seul 12 stations (soit 40% de l'échantillon) présentent au minimum 80% de surface naturelle de sol. Ces résultats seront discutés ultérieurement, en partie « discussion ».



F
Figure 19 : Proportion de cours d'eau selon leur pourcentage d'occupation naturelle de sol

3.2. Faciès d'écoulement

Deux paramètres ont été pris en compte dans l'étude de ce volet : le type de faciès d'écoulement présent sur la station ainsi que leur longueur respective. Il en découle les résultats suivants :

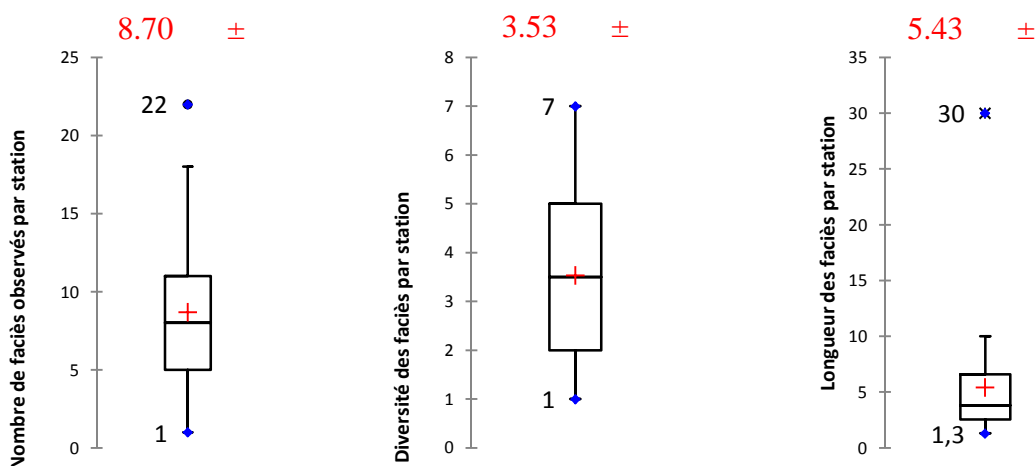


Figure 20 : Boîtes à moustaches du nombre, de la richesse et des longueurs des faciès d'écoulement par station.

D'après les graphiques ci-dessus, le nombre de faciès présent par station est relativement important (près de 9 sur 30m). La diversité des faciès semble également plutôt bonne car en moyenne, plus de 3 faciès différents sont retrouvés par station. La gamme de valeurs des longueurs de faciès observées est quant à elle relativement restreinte et présente une moyenne d'environ 5m par faciès.

Le disque ci-contre (cf. figure 21) représente la répartition du nombre de faciès moyens présent par station (30m). Au vu des résultats, plat courant et radier sont les deux faciès les plus récurrents (respectivement 2,2 (22,1%) et 1,9⁵(18,6%)).

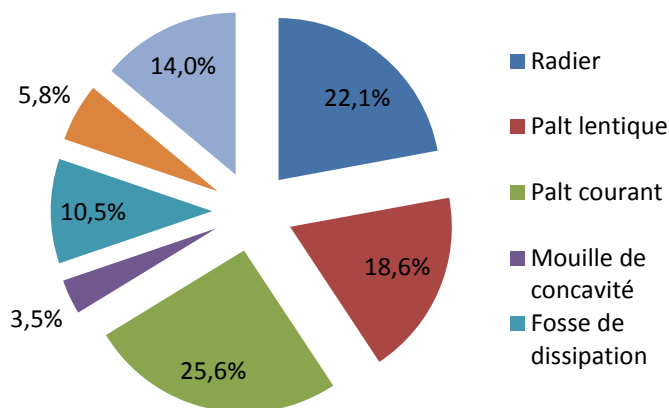


Figure 21: Répartition du nombre de faciès moyens observés par station.

Les faciès d'écoulement sont répartis en 67,4% de faciès rapides et 32,6% de faciès lents.

Brookes *et al.*, (1988) stipulent que dans un cours d'eau naturel dont l'équilibre morphodynamique est respecté, un faciès doit être observé en moyenne tous les 6 largeurs plein bord du cours d'eau. Nous avons vérifié ce postulat en réalisant le graphique ci-dessous (cf. figure 22).

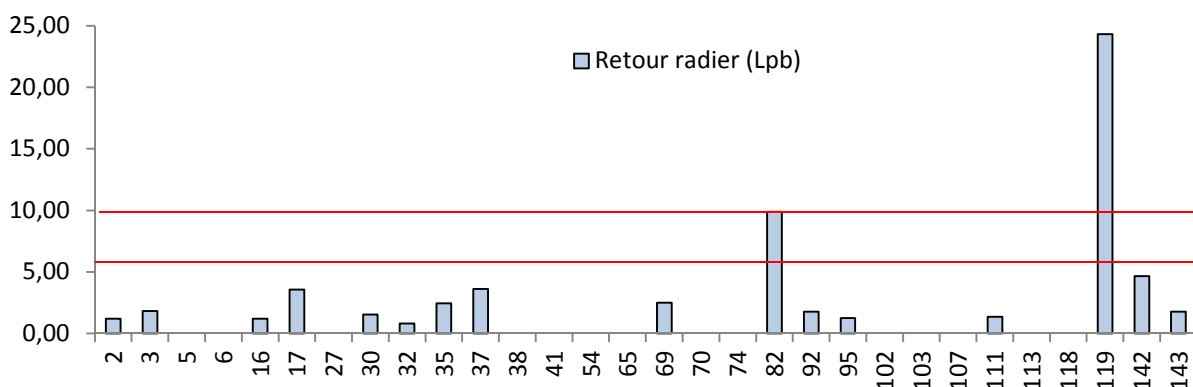


Figure 22 : Distance de retour au radier, exprimée en Lpb.

L'absence de données pour certaines stations est justifiée par l'absence ou la présence d'un seul radier sur la station. De ce fait, aucun calcul n'a pu être effectué pour celles-ci. Il s'avère que 46 % de l'échantillon

⁵ Les valeurs décimales, causées par le recours à la moyenne dans l'expression de ces données, ont été ici gardées. Elles permettent d'affiner nos observations pour des résultats qui ne présentent pas de grosses valeurs.

(soit 14 stations) présentent un retour de radier inférieur à $6 L_{pb}$. Pour les stations présentant des données, le retour de radier moyen est estimé à $3.99 \pm 5.85 L_{pb}$.

Des analyses complémentaires sont réalisées :

- Il n'y a pas de corrélation (Spearman pour données non paramétriques) au seuil de 5% entre nombre de faciès – sinuosité (p-value = 0.241) et diversité des faciès – sinuosité (p-value = 0.338)
- La pente semble influencer, au seuil de 5%, sur le nombre de faciès (p-value = 0.05) mais pas sur la diversité (p-value = 0.317).

3.3. Bois en rivière

Plusieurs données descriptives sont présentées ci-dessous (Figure 23). D'après les résultats, la présence de bois en rivière est non négligeable puisque près de 13 bois en rivière sont présent par station. Leurs petites tailles (85.4cm pour 5.8cm de diamètre en moyenne) est en adéquation avec la faible largeur à plein bord de ces systèmes (1.84m en moyenne).

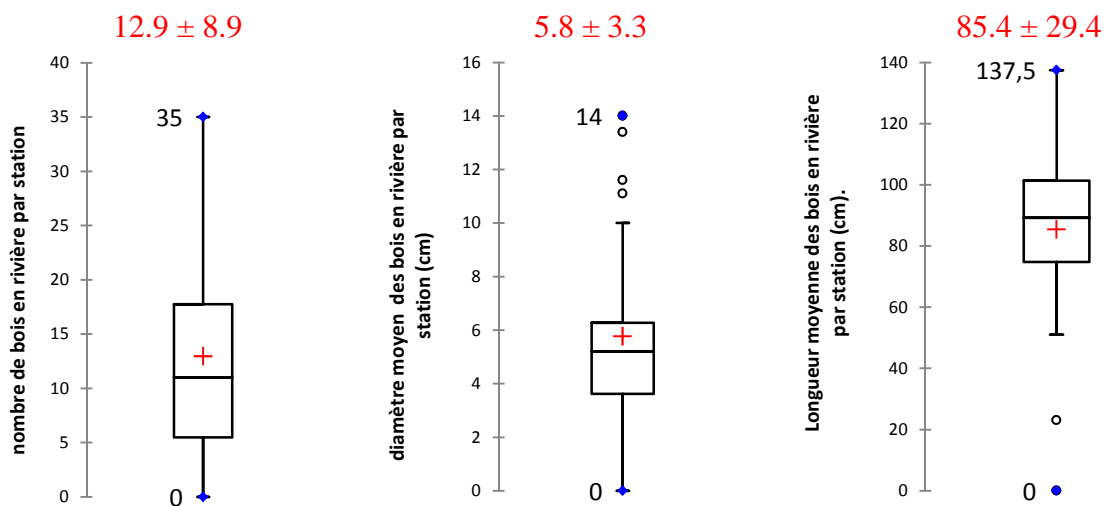


Figure 23 : Données descriptives des bois en rivière par station pour l'échantillon d'étude

Des données complémentaires indiquent que 69% des bois présents sur les 30 stations présentent un ou plusieurs rôles hydromorphologiques (Rétention, déflecteur ou barrage).

Il n'y a pas de corrélation (Spearman), au seuil de 5%, entre nombre de bois en rivière à rôle hydromorphologique diversité des faciès d'écoulement (p-value = 0.046). En revanche, le nombre de bois en rivière est corrélée avec la densité de ripisylve (nombre d'arbres) (p-value = 0.017).

3.4. Zones humides

L'observation du nombre de zones humides (ZH) et de leurs surfaces respectives s'est faite sur des linéaires différents mais sur des largeurs constantes (15 mètres sur chaque rive, soit 30 mètres). Par conséquent, ces valeurs ont été ramenées à une même unité de longueur (100m). Voici les résultats : au total, sur nos 30 stations, une superficie de 147150 m^2 a été prospectée.

- 70% des stations prospectées présentent au moins une zone humide (21/30)
- Parmi ces 70% :
 - Présence en moyenne de 3.2 ± 2.6 zones humides pour 100m
 - Surface moyenne de 1005 ± 1707 m² par zone humide, dont 42% des stations présentent une surface de zone humide inférieure à 500m².

L'étude plus détaillée des surfaces de zones humides (figures 22 et 23) montre que :

- sur les 141750 m² prospectés, 43.332 m² sont occupés par des ZH, réparties sur 66 ZH, soit 29,45% de la surface ;
- 83,3 % de ces zones humides ont une surface inférieure à 500 m² ;
- 84,85 % ont une surface inférieure au seuil de 1000 m²

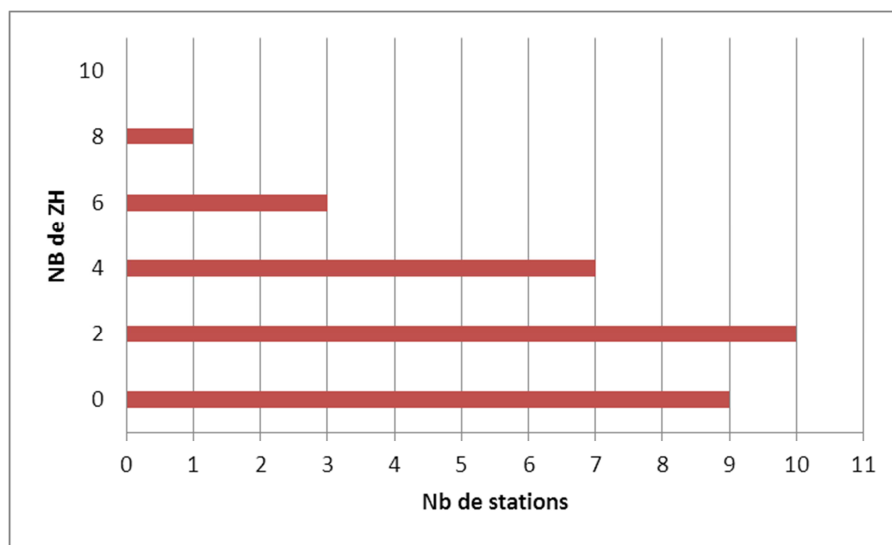


Figure 24 : Distribution du nombre de ZH observées par station.
(Les bornes de classes indiquées sont incluses dans l'intervalle)

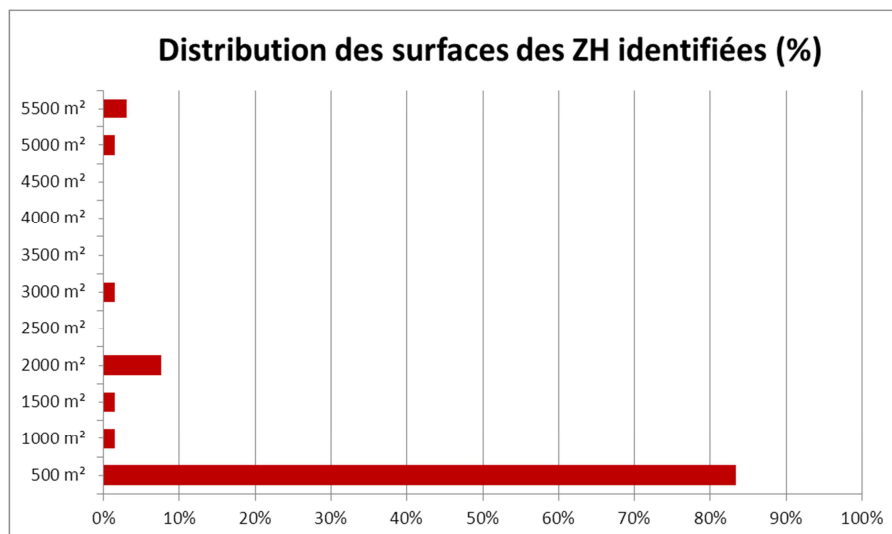


Figure 25 : Distribution des surfaces des ZH observées sur notre lot de 30 stations
(Les bornes de classes indiquées sont incluses dans l'intervalle)

4. Comparaison des deux méthodes de recueil de la largeur de plein bord

Pour 16 des 30 stations prospectées, deux types de protocole ont été employés afin de déterminer la largeur à plein bord de la station (cf. 3.5.5. de la partie « description stationnelle, protocole expérimental et méthodes d'analyses »). Une analyse, détaillée en annexe 6 et basée sur les travaux de Trainor & Church (2003) et Navratil (2005), est réalisée afin de déterminer :

- Si la longueur de 30m permet une stabilité des mesures et donc une bonne approximation des variables définissant la géométrie du lit, le cas échéant nous chercherons à déterminer quelle est la longueur de cours d'eau minimale à prendre en compte.
- Si le nombre de transects préconisés (6 sur l'ensemble de la station) est suffisant ou à l'inverse, s'il doit être augmenté.
- Si la distance préconisée entre les transects (6m) est adéquate.

4.1. Détermination d'une longueur minimale de station

Il est constaté que le choix d'une longueur de 30m pour notre échantillon est validé pour une mesure de la valeur moyenne de L_{pb} et H_{pb} avec une précision de $\pm 5\%$. Cette distance permet une estimation de l'écart type avec une précision de $\pm 10\%$.

4.2. Détermination du nombre minimal de transects

Suite aux résultats obtenus précédemment, nous avons cherché à déterminer le nombre de transects à réaliser pour obtenir une stabilisation de la moyenne et de l'écart type pour les variables L_{pb} et H_{pb} (détaille de la méthode en annexe 6). Les résultats sont les suivants :

- Pour un taux de variation se stabilisant à $\pm 5\%$:
 - Pour 67% des stations, 10 transects permettent une stabilisation de la moyenne des valeurs de L_{pb} et H_{pb} .
 - 30 transects ne permettent pas une stabilisation de l'écart type des valeurs de L_{pb} et H_{pb} .
- Pour un taux de variation se stabilisant à $\pm 10\%$:
 - Pour 93% des stations, 6 transects permettent une stabilisation de la moyenne des valeurs de L_{pb} et H_{pb} .
 - Pour 50% des stations, 30 transects permettent une stabilisation de l'écart type des valeurs de L_{pb} et H_{pb} .

4.3. Distance préconisée entre les transects

Si l'on se fie aux résultats obtenus dans la détermination du nombre minimal de transects, alors 6 transects, espacés de 6m chacun, suffiraient dans 93% des cas pour obtenir des valeurs moyennes de L_{pb} et H_{pb} avec $\pm 10\%$ de précision. Ainsi, la distance préconisée dans notre protocole semble donc adéquate.

La présente étude vise à étudier le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant. L'objectif de cet étude, pourtant simple à première vue, est en réalité bien plus complexe qu'il n'y paraît, notamment car elle sous-entend la compréhension de nombreux processus physiques régissant le fonctionnement des cours d'eau. Afin d'apporter des éléments de discussion pertinents et organisés, nous diviserons ce volet en 3 parties distinctes. Dans un premier temps, un bilan sur les connaissances des cours d'eau en tête de bassin versant sera effectué. Puis, des commentaires sur les résultats seront apportés. Enfin, des perspectives, dans le but d'améliorer le protocole d'étude, seront évoquées.

1. Bilan des connaissances sur les cours d'eau en tête de bassin versant

Les recherches bibliographiques ont démontré que les « têtes de bassin versant » semblent être de plus en plus intégrées dans la gestion des milieux aquatiques. En effet, malgré une récente prise en compte, cette thématique fait l'objet de considérations plus marquées, avec un nombre conséquent de recherches publiées après 2005. Cependant, l'essentielle des études pour ces cours d'eau ont été réalisées sur le territoire Nord-Américain, de ce fait, peu d'informations à l'échelle nationale nous sont disponibles. A ce problème, vient s'ajouter le fait que la plupart des recherches sur le territoire français se sont effectuées sur des milieux montagneux. Il nous est donc difficile de comparer ces systèmes aux nôtres. Enfin, la grande majorité des connaissances exposées pour ces systèmes se limitent très souvent aux rôles majeurs qu'ils jouent en hydrologie, biologie et physico-chimie. Ainsi, la littérature scientifique fait état de peu (voire pas) d'études sur l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant. Il semble alors nécessaire de compléter cette considération préalablement établie en s'axant sur les bases du fonctionnement hydromorphologique de ces cours d'eau.

2. Fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau en tête de bassin versant

2.1. Recherche et sélection des cours d'eau candidats à la référence

La recherche initiale de cours d'eau de référence en tête de bassin versant a été particulièrement fastidieuse. Il s'est avéré, d'après les retours des Services Départementaux, que très peu de systèmes présentaient des caractéristiques hydromorphologiques de référence. Ce problème met en évidence les fortes pressions soumises sur ces systèmes, mais également leur grande fragilité. A titre d'illustration, les 142 sites recensés représentent un linéaire cumulé d'environ 70km de cours d'eau de référence, en rapport avec les plus de 55 000 km de cours d'eau en tête de bassin versant sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire

Il s'est également avéré que certains cours d'eau communiqués par les Services Départementaux ne présentaient pas les conditions de référence souhaitées et ont été écartés de la sélection lors des prospections de terrain. Une meilleure explication de nos attentes à ces personnes aurait pu affiner la qualité des données recueillies. Mis à part ce léger problème, les bonnes connaissances en hydrographie des agents de terrain nous ont permis de créer une base de données conséquente en un temps très limité, ce qui nous a fait gagner un temps précieux dans la phase de pré-sélection des cours d'eau candidats à la référence. Enfin, d'après nos recherches bibliographiques (Sanchez-Montoya, 2009), une approche « bassin versant » aurait pu être effectuée. Celle-ci aurait permis, à partir de critères d'occupation du sol, de valider ou d'invalider notre sélection de cours d'eau de référence et ainsi d'éviter les « mauvaises surprises » lors de la phase de terrain.

2.2. Fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau de tête de bassin versant

2.2.1. Paramètres hydromorphologiques principaux

Notre étude s'est portée sur un échantillon de 30 stations. Il était prévu d'augmenter ce nombre à 33, en englobant 3 sites prospectés dans la Sarthe, au sein de l'hydroécocorégion « Tables calcaires ». Cependant, après observation de la distribution des données pour ces sites, nous avons remarqué qu'un bon nombre de variables présentaient des valeurs sensiblement différentes à celles situées sous l'HER « Massif Armoricaïn ». Nous avons donc décidé de les exclure de l'étude.

Au vu des résultats obtenus, le protocole semble adapté pour mettre en évidence les caractéristiques hydromorphologiques générales des petits systèmes. Les données principales s'avèrent être particulièrement variables selon les stations. Peu d'explications sont apportées à cette tendance, mais plusieurs hypothèses peuvent être posées :

- Les ruisseaux de cet échantillon ne seraient pas tous d'ordre 1, au sens strict de la définition : L'application de la méthode de Strahler dans la qualification des cours d'eau peut être amenée à varier suivant la rigueur des observateurs. De ce fait, des cours d'eau d'ordre 1 peuvent en réalité être des cours d'eau d'ordre 2 ou 3, qui présentent des caractéristiques hydromorphologiques différentes des systèmes recherchés. L'approximation faite par l'observateur est également liée à la définition jurisprudentielle du « cours d'eau ». Certains observateurs ne qualifieront pas de cours d'eau ce que d'autres personnes feront, d'où le problème de prise en compte.
- Quelques stations pourraient être le joug d'autres variables de contrôle influençant les caractéristiques morphodynamiques du milieu (climat, géologie).

L'approche des variables par classe a permis de mettre en évidence quelques points :

- ✓ 70% des cours d'eau en tête de bassin versant possèdent des largeurs à plein bord inférieures à 2.30m. Ces valeurs de largeur tendent à concorder avec les affirmations de Wipfli *et al.*, 2007.
- ✓ Les bassins versant drainant ces systèmes sont naturellement petits, du fait de leur localisation en tête de bassin.
- ✓ 53% des cours d'eau étudiés présentent une puissance spécifique inférieure à 35 W/m². D'après la bibliographie, lorsque la puissance spécifique est inférieure à 35 W/m², les cours d'eau sont dans l'incapacité d'auto-ajuster leur géométrie du lit afin de répondre aux différentes pressions qu'ils subissent (Wasson *et al.*, 1988 in Malavoi & Bravard, 2010).
- ✓ Malgré des restrictions de pente exigées lors de la présélection de l'échantillon, 30% des cours d'eau de l'étude présentent une pente inférieure à 1%. Cette affirmation remet clairement en cause la définition du SDAGE Loire-Bretagne, définissant les cours d'eau en tête de bassin versant comme « *les cours d'eau de rang 1 et 2 de Strahler dont la pente est supérieure à 1%* ».

Analyses statistiques des variables principales :

Dans notre échantillon, la largeur et la hauteur à plein bord dépendraient de la surface de bassin versant. Cette relation est confirmée par la bibliographie, qui stipule une relation de causalité entre la surface du bassin versant et ces deux autres variables (Petit & Daxhelet, 1989 ; Petit *et al.*, 2005 ; Malavoi & Bravard, 2010). En revanche aucune relation de causalité n'est trouvée entre le rapport L_{pb} / H_{pb} et la granulométrie. Ce résultat infirme le lien mis en évidence par Petit *et al.* (2005). L'absence de corrélation entre le rapport L_{pb} / H_{pb} et la puissance spécifique infirme également la bibliographie (Malavoi & Bravard, 2010).

Malgré un bon nombre d'affirmations bibliographiques (Petit & Daxhelet, 1989 ; Petit *et al.*, 2005 ; Malavoi & Bravard, 2010), la relation entre le débit à plein bord et la surface de bassin versant drainée n'est pas très fiable. Ceci peut s'expliquer par les fortes variabilités observées pour ces deux paramètres.

Cette étude a permis de réaliser une ébauche de typologie, basée sur l'hydroécocorégion et quelques variables morphologiques (notamment la pente, la rugosité, la granulométrie d'un radier, la hauteur de plein bord et la sinuosité). Cependant, la taille modeste de l'échantillon ne permet pas d'établir des relations fiables au sein de ces groupes, ni une description fine de leurs caractéristiques.

Comparaison des débits à plein bord avec les données issues de la banque hydro :

Les résultats mis en lumière par cette comparaison montrent qu'une grande majorité des cours d'eau échantillonnés présentent des valeurs de débit à plein bord nettement supérieures aux débits Q_2 , Q_5 , et Q_{10} attendus. 5 hypothèses peuvent être émises afin d'expliquer ce phénomène :

1. La majorité des cours d'eau en tête de bassin versant étudiés ont un stade de vieillissement qui engendre une augmentation du débit à plein bord (Schumm, 1970). (cf. Annexe 8)

2. Lorsqu'une crue importante intervient (ex : Q_{50}), ces systèmes n'ont pas la capacité de s'auto-ajuster rapidement, notamment en raison de leur faible puissance spécifique (Degoutte, 2006).
3. La réponse hydrologique rapide des têtes de bassin versant font que ces cours d'eau présentent des débits de crues plus importants que ceux issus de bassins versants de cours d'eau à réponse hydrologique plus lente.
4. L'extrapolation des valeurs de débits des stations de la banque hydro en aval pourrait ne pas être correcte.
5. La formule théorique des débits à plein bords pourrait présenter des biais (Estimation du coefficient K, mesures de pente) et serait à revoir.

Un calcul des débits à plein bord en condition de crue, pour quelques-unes des stations étudiées, pourrait être envisagé. Il permettrait de comparer ces valeurs avec nos résultats afin d'estimer la finesse de notre évaluation.

2.2.2. Paramètres hydromorphologiques complémentaires

Coefficient de rugosité :

Nous constatons, d'après les résultats obtenus, que la totalité des stations présentent un coefficient de rugosité faible (de 7 à 20), indicateur de cours d'eau rugueux. Il s'avère que les cours d'eau naturels possèdent une rugosité importante (Degoutte, 2006). Un système rugueux a une bonne capacité de rétention de la matière organique naturelle (bois, feuilles...) : c'est est une clé de fonctionnalité des cours d'eau en tête de bassin versant (Lecerf, 2005 ; Baudoin, 2009).

Occupation du sol :

La bibliographie stipule que les bassins versant drainés par les cours d'eau de référence doivent présenter 80% de surfaces « naturelles » (autres que des zones agricoles, urbaines, sylvicoles ou industrielles) (Sanchez-Montoya *et al.*, 2009). D'après les résultats obtenus, la majorité de notre échantillon (60%) ne respecte pas ces conditions. Cependant, ces critères s'avèrent particulièrement restrictifs en tête de bassin versant. D'une part car ce sont des petites unités géographiques : un type de sol, même faiblement représenté, aura un pourcentage d'occupation non négligeable sur l'ensemble des surfaces présentes. D'autre part, car le territoire armoricain possède une forte dominance agricole, accentuée principalement en tête de bassin versant. Il est donc difficile de trouver des surfaces en amont dénuées de toutes pressions pour ces cours d'eau.

Retour au radier :

Nous pouvons dire, pour les cours d'eau présentant un retour au radier, que les résultats obtenus se placent dans la moyenne « basse » des valeurs stipulées par la bibliographie (Brookes *et al.*, 1988). Cette tendance est peut être due à la forte présence de bois en rivière sur notre échantillon. En effet, la présence

d'éléments ligneux dans le cours d'eau entraîne une augmentation du nombre de mouilles, qui conduit à une augmentation proportionnelle du nombre de radier.

Bois en rivière :

Les bois en rivière sont abondants sur notre échantillon. Ils jouent également un rôle important dans l'hydromorphologie du cours d'eau. Ce constat est en total adéquation avec nos recherches bibliographiques (cf. 2.3.3. de la synthèse bibliographique). Un lien logique entre densité de ripisylve a également été mis en lumière. Ce lien est souligné par la bibliographie (Moulin, 2005).

Zones humides :

L'objectif de ce volet était de vérifier les données bibliographiques acquises. Il s'avère que nos résultats concordent avec ceux de Janish *et al.*, (2012) (cf. 2.3.3. de la synthèse bibliographique). Comme nous pouvons le constater, les zones humides en tête de bassin versant sont abondantes mais de petites tailles. La rubrique 3.3.1.0. de l'article L211.1 du Code de l'Environnement stipule qu'un « *assèchement, une mise en eau, une imperméabilisation ou un remblai de zones humides de moins de 0,1 hectare ne sont pas soumis à la réglementation* ». La majorité des zones humides répertoriées sur nos stations présentaient majoritairement des surfaces individuelles inférieures à ce seuil, des mesures de protection doivent être mises en place afin de maintenir ces milieux intacts.

2.2.3. Comparaison des deux méthodes de recueil de L_{pb}

Notre protocole d'étude de la géométrie du lit permet d'approcher des valeurs de L_{pb} et H_{pb} moyen avec une précision inférieure à 10%. Ces résultats satisfaisants confirment que notre méthode semble relativement fiable. Des analyses supplémentaires sur la distance entre les transects pourraient être menés afin d'affiner notre méthode.

3. Perspectives d'amélioration du protocole d'étude

Le protocole réalisé pour cette étude permet une approche fiable et intégrée de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant. Il présente alors un bon nombre d'avantages :

- ✓ Des données quantitatives, qui limitent les biais observateurs,
- ✓ De nombreuses variables permettant une approche hydromorphologique exhaustive,
- ✓ Une conception spécifique aux cours d'eau en tête de bassin versant,
- ✓ Facilement adaptable à d'autres régions
- ✓ Simple de compréhension,
- ✓ Relativement rapide à réaliser (1h30), comparé à d'autres protocoles plus lourds,
- ✓ Demande peu de matériels et peu de personnes (3 individus suffisent à une acquisition rapide des données).

Afin de perfectionner ce protocole, des perspectives d'amélioration peuvent être soulevées :

- Le volet « Mesures du gabarit du lit » possède un grand nombre de paramètres à mesurer (cf. annexe 2). C'est également le volet le plus chronophage dans la prise de mesures. Afin d'alléger le temps de prospection sans pour autant négliger la qualité des données, il serait judicieux de supprimer ou simplifier quelques paramètres peu utiles au sein de ce volet (mesures du lit mouillé et mesures granulométriques). D'autre part, les 6 transects effectués au sein de la station permettent une approche assez fine des valeurs de L_{pb} , les 10 autres transects réalisés ne sont donc pas nécessaires.
- En plus des coordonnées amont/aval du tronçon⁶, il pourrait être envisagé de « remonter » le cours d'eau à l'aide d'un GPS enregistreur par unité de temps. Ces mesures seront prises du point aval de la station jusqu'à la source, et pourront être retranscrites sur SIG afin d'évaluer le linéaire amont du cours d'eau. Ces données sont intéressantes puisqu'elles permettront d'affiner les analyses traitant des relations débits à plein bord et surface du bassin versant.
- La délimitation de la station peut être éventuellement revue, en étant adaptée à la largeur à plein bord du cours d'eau.
- La sinuosité est une variable délicate, puisqu'elle est estimée de façon très différente selon le type de méthode choisie. Ses valeurs dépendent également de l'échelle choisie. Une estimation à l'échelle du tronçon pourra être alors utile car elle permettra de comparer ces valeurs avec celles issues de la station.
- La couche d'armure⁷ est un paramètre difficile à évaluer sur le terrain. Afin de ne pas apporter de fausses estimations, il serait judicieux de le supprimer du protocole. Cependant, au vu de l'importance de ce paramètre, il apparaît judicieux d'analyser d'autres méthodes d'évaluation potentielle.
- Le volet ripisylve doit être « allégé ». En effet, malgré son exhaustivité apparente, il ne permet pas d'effectuer des analyses faibles pour ce compartiment.
- L'utilisation d'un luxmètre est indispensable afin d'améliorer la finesse des données issues du volet « Eclairement moyen du lit mineur »
- Il serait intéressant de retravailler le volet « Erodabilité ». Des travaux effectués par Rosgen (2001) pourront peut-être améliorer le protocole d'étude.

⁶ De la source à la confluence

⁷ Couche granulométrique grossière située à la surface du matelas alluvial.

CONCLUSION

A l'extrême amont du réseau hydrographique, les cours d'eau en tête de bassin versant représentent notre « capital hydrologique ». Ils apparaissent comme de formidables réservoirs et constituent un milieu écologique à préserver. Malgré leur forte abondance au sein du réseau hydrographique, ces systèmes restent fragiles et peuvent très vite se dégrader en raison des activités anthropiques qui s'y développent. De ce fait, peu d'entre-eux gardent leur état de référence.

La sensibilité des cours d'eau en tête de bassin versant et leur influence essentielle dans l'atteinte des objectifs de bon état à l'aval justifient le fait de s'y intéresser. C'est dans ce contexte d'atteinte du bon état écologique et de conservation de l'existant que la DIR2 de l'ONEMA a mis en place un projet d'évaluation écologique des cours d'eau en tête de bassin versant. La présente étude, qui s'inscrit dans la première phase de ce projet, vise à porter des éléments de réponse quant au fonctionnement hydrologique des cours d'eau en tête de bassin versant.

Il s'avère que ces systèmes semblent suivre les mêmes lois morphodynamiques que leurs homologues d'ordres supérieurs. Malgré cette similitude apparente, ces cours d'eau présentent une grande variabilité dans leur fonctionnement. Par conséquent, une étude supplémentaire, prenant en compte un plus grand échantillon, s'avère être nécessaire pour vérifier si cette variabilité observée n'est qu'en réalité un biais causé par notre faible échantillon.

Pour finir, cette proposition d'étude hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin a pour objectif de susciter diverses réactions et discussions amenant à des suggestions d'évolution du protocole, afin d'améliorer la compréhension de l'ensemble des variables influençant la morphodynamique de ces milieux.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERT M.B., 1998. Impact de l'entretien de la végétation rivulaire et du bois mort sur les communautés biologiques et la morphologie des cours d'eau. CEMAGREF. Mémoire de DEA. Université Lyon II. 48 pages.
- ALEXANDER R.B., E.W. BOYER, R.A. SMITH, G.E. SCHWARZ & R.B. MOORE, 2007. The role of headwater streams in downstream water quality. *Journal of the American Water Resources Association*. **43**; 41-57.
- ALLAN J.D., 1995. Structure and function of running waters. *Stream Ecology*. Kluwer Academic Publishers.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE C. & PONTANIER ROGER, 1995. Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides : le vocabulaire et les concepts. In : L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?. Montrouge : J. Libbey Eurotext, Pages 11-29. (Colloques et Congrès : Science et Changements Planétaires/Sécheresse). Congrès International sur la Restauration des Terres Dégradées, des Zones Arides et Semi-Arides, Tunis.
- BARBOUR M.T., J.B. STRIBLING, J. GERRISTEN & J.R. KARR, 1996. Biological criteria : Technical guidance for streams and rivers. EPA/822-B-96-001. *US Environmental Protection office of Science and Technology*, Washington, DC.
- BAUDOIN J.M., 2007. Biodiversité et fonctionnement de cours d'eau forestiers de tête de bassin : Effet de l'acidification anthropique et d'une restauration. Discipline Ecologie, Spécialité Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, Université Paul Verlaine de Metz. 221 pages.
- BAILEY R.C., R.H. NORRIS & T.B. REYNOLDSON, 2004. Bioassessment of Freshwater Ecosystems: Using the Reference Condition Approach. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
- BENDA L., M.A. HASSAN, M. CHURCH & C.L. MAY, 2005. Geomorphology of steepland headwaters: the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association*. **41**, 835-851.
- BERKOWITZ J., A. F. CASPER & C. NOBLE, 2011. A multiple watershed field test of hydrogeomorphic functional assessment of headwater streams - Variability in field measurements between independent teams. *Ecological indicators*. *ELSEVIER*. 1472-1475.
- BISHOP K., I. BUFFAM, M. ERLANDSSON, J. FÖLSTER, H. LAUDON, J. SEIBERT & J. TEMNERUD, 2008. Aqua Incognita: the unknown headwaters. *Hydrological Process*. **22**, 1239-1242.
- BONADA N., N. PRAT, A. MUNNE, M. RIERADEVALL, J. ALBATERCEDOR, M. ALVAREZ, J. AVILES, J. CASAS, P. JAIMEZ-CUELLAR, A. MELLADO, G. MOYA, I. PARDO, S. ROBLES, GRAMON, M.L. SUAREZ, M. TORO, M.R. VIDAL-ABARCA, D. VIVAS & C. ZAMORA-MUNOZ, 2002. Criterios para la selection de condiciones de referencia en los rios mediterraneos. Resultados del proyecto GUADALMED. *Limnetica*. **21**, 99-114.
- BOYER M. 1998. La gestion des boisements de rivières, Guide technique n°1 de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, deux fascicules, 42 et 65 pages.

- BROOKES A., 1988. Rivers channelization, Perspectives for environmental management. *Wiley interscience*. 326 pages.
- CARHYCE, 2008. Protocole de caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau à l'échelle stationnelle (cours d'eau prospectables à pied). ONEMA. 25 pages.
- CHAVES M.L., J.L. COSTA, P. CHAINHO, M.J. COSTA & N. PRAT, 2006. Selection and validation of reference sites in small river basins. *Hydrobiologia*. **573**, 133-154.
- CHOUCARD P., 2011. Etude d'une méthodologie d'inventaire cartographique et de hiérarchisation des têtes de bassin versant dans le contexte armoricain, application au bassin versant du Couesnon. SAGE Couesnon. 30 pages.
- CLARKE A., R. MAC NALLY, N. BOND & P.S. LAKE, 2008. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater biology*. **53**, 1707-1721.
- COWAN W.L., 1956. Estimating Hydraulic Roughness Coefficients. *Agricultural Engineering*. **37**, 473-475.
- CURRAN J.H. & WOHL E.E., 2003. LWD and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington. *Geomorphology*. **51** (3), 141-157.
- DEGOUTTE G., 2006. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées au diagnostic, à l'aménagement et à la gestion des rivières. Editions Lavoisier Tec et Doc. 384 pages.
- ECONOMOU A.N., 2002. Defining Reference Conditions. Development, Evaluation & implementation of a Standardised Fish-based Assessment Method for the Ecological Status of European Rivers – A contribution to the Water Framework Directive. Institute for Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- ELMORE A.J. & S.S. KAUSHAL, 2008. Disappearing streams : patterns of stream burial due to urbanization. *The Ecological Society of America*.
- ELOSEGI A., J. DIEZ & M. MUTZ, 2010. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystem. *Hydrobiologia*. **657**, 199-215.
- FREEMAN M.C., C.M. PRINGLE & C. RHETT JACKSON, 2007. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales. *Journal of the American Resources Association*. **43**, 5-12.
- FRITZ K.M., JOHNSON B.R. & WALTERS D. M., 2006. Field operations manual for assessing the hydrologic permanence and ecological conditions of headwater streams. U.S. EPA. 130 pages.
- HAYOT, 2011. Sur quels critères entreprendre la reconstitution de ripisylves diversifiées (en âge et en structure) et fonctionnelles sur le long terme ? Rapport de stage. ONEMA/AERM/Agro Paris Tech. 69 pages.
- HERING D., A. BUFFAGNI, O. MOOG, L. SANDIN, M. SOMMERHAUSER, I. STUDAUER, C. FELD, R. JOHNSON, P. PINTO, N. SKOULIKIDIS, P.F.M. VERDONSCHOT & S. ZAHRADKOVA, 2003. The development of a system to assess the ecological quality of streams based on macroinvertebrates – design of the sampling programme within the AQEM project. *International Review of Hydrobiology*. **88**, 345-361.

- HUGUES R.M., LARSEN D.P. & OMERNIK J.M., 1986. Regional reference sites : a method for assessing stream potentials. *Environmental Management*. **10**, 629-635.
- HUGHES, R.M., 1995. Defining acceptable biological status by comparing with reference conditions. In Davies, W.S. & T.P. Simon (eds), *Biological Assessment and Criteria. Tools for Water Resource Planning and Decision Making*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 31-48.
- HYNES, H.B.N., 1975. The stream and its valley. *Verhandlungen der International Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. **19**, 1-15.
- JANISCH, J.E., S.M. WONDZELL & W.J. EHINGER, 2012. Headwater stream temperature: Interpreting response after logging, with and without riparian buffers, Washington, USA. *Forest Ecology and Management*. **270**, 302-313.
- KRAFT C.E. & WARREN D.R., 2003. Development of spatial pattern in LWD and debris dams in streams. *Geomorphology*. **51** (3), 127-139.
- LAKE P.S., 2003. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater biology*. **48**, 1161-1172.
- LANE E.W., 1955. The Importance of Fluvial Morphology in Hydraulic Engineering. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division 81, paper n° 745.
- LECERF, 2005. Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau en tête de bassin versant. Thèse Discipline Ecologie fonctionnelle, Université Toulouse III – Paul Sabatier, UFR Sciences et vie de la terre. 159 pages.
- LEOPOLD L.B., 1964. A view of the river - Harvard University Press. 298 pages.
- LE BIHAN M., 2009. L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin versant en Moselle (57). Rapport de stage. ONEMA/Université Paul Verlaine Metz. 49 pages.
- LIFE « RUISSEAUX », 2009. Colloque : De l'expérimentation à la gestion des ruisseaux de têtes de bassins Dijon, 9-11 juin 2009.
- LOWE WINSOR H. & LIKENS GENE E., 2005. Moving Headwater Streams to the Head of the Class - *BioScience*, 55(3): pages 196-197.
- MACDONALD L.H. & D. COE, 2007. Influence of headwater streams on downstream reaches in forested areas. *Forest Science*. **53** (2), 148-164.
- MALAVOI J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin français de la pêche et pisciculture*. **315**, 189-210.
- MALAVOI J.R., J.P. BRAVARD, H. PIEGAY, E. HEROIN & P. RAMEZ, 1998. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. Guide technique n°2, *Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse*, 39 pages.

MALAVOI J.R. & SOUCHON Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : Clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. **365-366**. Pages 357-372.

MALAVOI J.R. & J.P. BRAVARD, 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA. 224 pages.

MATHIEU A., 2010. *Cours d'eau en tête de bassin : préconisations pour leur restauration*. ONEMA. 35 pages.

METEO FRANCE, 2011, disponible sur www.meteofrance.com/.

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

MEYER, J.L., D.L. STRAYER, J. BRUCE WALLACE, S.L. EGGERT, G.S. HELFMAN & E. LEONARD, 2007. The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks. *Journal of the American Resources Association*. **43**, 86-103.

MEYER, J.L., R. BEILFUSS, L.A. KAPLAN, Q. CARPENTER, D. NEWBOLD, R. SEMLITSCH, D.L. STRAYER, M.C. WATZIN, C.J. WOLTEMADE, P.H. ZEDLER & J.B. ZEDLER, 2007. Where rivers are born : the scientific imperative for defending small streams and wetlands. *American Rivers and Sierra Club*. Pages 3-24.

MOULIN B., 2005. Variabilité spatiale et temporelle du bois dans le réseau hydrographique de l'Isère à l'amont de Grenoble. Thèse de Doctorat en géographie. Université Jean Monnet-Saint-Etienne. 450 pages.

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

NADEAU T.L. & M.C. RAINS, 2007. Hydrological connectivity between headwater streams and downstream waters : how science can inform policy. *Journal of the American water resources association*. **43** (1); 118-130.

NAVRATIL, 2005. Débit de pleins bords et géométrie hydraulique : une description synthétique de la morphologie des cours d'eau pour relier le bassin versant et les habitats aquatiques, Thèse, INPG-Cemagref, 320 pp.

NAVRATIL O., P. BREIL, L. GROPRETTE & M.B. ALBERT, 2012. Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yseron River basin, France). *Journal of Hydrology*. doi : 10.1016/j.jhydrol.2012.01.036.

NEWSON, M.D. & LARGE A.R.G., 2006. 'Natural' rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*. **31**, 1606-1624.

NGUYEN VAN R., 2012. Les altérations physiques en têtes de bassin versant sur les régions Bretagne-Pays de la Loire. ONEMA. 161 pages.

NIJBOER R.C., R.K. JHONSON, P.F.M. VERDONSCHOT, M. SOMMERHAUSER & A. BUFFAGNI, 2004. Establishing reference conditions for European streams. *Hydrobiologia*. **516**, 91-105.

OFEV, 2009. Réseau Hydrographique : ordre des cours d'eau pour le réseau hydrographique numérique au 1/25 000 de la Suisse [En ligne], disponible sur <http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/02118/02120/index.html?lang=fr>

PETERSON, B.J., W.M. WOLLHEIM, P.J. MULHOLLAND, J.R. WEBSTER, J.L. MEYER, J.L. TANK, E. MARTI, W.B. BOWDEN, H. MAURICE VALETT, A.E. HERSHEY, W.H. MCDOWELL, W.K. DODDS, S.K. HAMILTON, S. GREGORY & D.D. MORRALL, 2001. Control of Nitrogen export from watersheds by headwater streams. *Science*. **292**; 86-90.

PETIT F. & C. DAXHELET, 1989. Détermination du débit à pleins bords et de sa récurrence dans différentes rivières de Moyenne et de Haute Belgique. *Bull. Soc. Geog. Liège*. **25**, 69-84.

PETIT F., E. HALLOT, G. HOUBRECHTS & J. MOLS, 2005. Evaluation des puissances spécifiques de rivières de moyenne et de haute Belgique. *Bulletin de la société géographique de Liège*. **46**, 37-50.

PEYRARD, D., 2008. Un modèle hydrobiogéochimique pour décrire les échanges entre l'eau de surface et la zone hyporhéique de grandes plaines alluviales. Thèse. Université Toulouse III. Pages 18-36.

PIEGAY H. & GURNELL A.M., 1997. Large woody debris and river geomorphological pattern : examples from S.E. France and S. England. *Geomorphology*. **19**, 99- 16.

PINTO MARTINS D., 2008. Aménagements hydroélectriques et impacts sur la dynamique des flux et de sédiments. Le cas du haut Parana, Brésil. Université de Lyon 2.

RENARD J., 2002. Les mutations des campagnes - Paysages et structures agraires dans le monde. *Armand Colin*. Collection U Géographie. 221 pages.

REYNOLDS, T.B., R.H. NORRIS, V.H. RESH, R.H. DAY & D.M. ROSENBERG, 1997. The reference condition : a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*. **16**, 833-852.

REYNOLDS, T.B. & J.F. WRIGHT, 2000. The reference condition : problems and solutions. In Wright, J.F., D.W. SUTCLIFFE & M.T. FURSE (eds), *Assessing the biological quality of fresh waters : RIVPACS and others techniques*. Freshwater Biological Association, Ambleside, Cumbria, UK : pages 293-303.

RHEINHARDT R.D., M.C. RHEINHARDT, M.M. BRINSON & K.E. FASER Jr, 1999. Application of Reference Data for Assessing and Restoring Headwater Ecosystems. *Restoration Ecology*. **7** (3), 241-251.

RINALDI, M., SURIAN, N., COMITI, F. & BUSSETTINI, M., 2012. Guidebook for the Evaluation of Stream Morphological Conditions by the Morphological Quality Index (MQI). Version 1.1. 85 pages. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

- ROSGEN, 2001. A Practical Method of Computing Streambank Erosion Rate, Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference. March 25-29, 2001, Reno, Nevada.
- SANCHEZ-MONTOYA M.M., M.R. VIDAL-ABARCA, T. PUNTI, J.M. POQUET, N. PRAT, M. RIERADEVALL, J.ALBA-TERCEDOR, C. ZAMORA-MUNOZ, M.TORO, S. ROBLES, M. ALAVREZ & M.L. SUAREZ, 2009. Defining criteria to select reference sites in Mediterranean streams. *Hydrobiologia*. **619**, 39-54.
- SCHNEIDER, 2007. Plaidoyer pour une restauration des cordons rivulaires naturels des ruisseaux et ruisselets forestiers. *Forêt wallone*. **86**, 43-57.
- SCHUMM S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*. **67**, 597-646.
- SCHUMM S.A., 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. U.S. Geological Survey Professional Paper 352B, pages 17-30.
- SCHUMM S.A., 1971. Fluvial geomorphology ; the historical perspective. In Shen H.W. (éd), *River Mechanics*, Fort Collins, CO, Water Resources Publ.
- STODDARD J.L., D.P. Larse, C.P. Hawkins, R.K. Jonson & R.H. Norris, 2006. Setting expectations for the ecological conditions of streams : the concept of reference condition. *Ecological Applications*. **16**, 1267-1276.
- STRAHLER A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*. **38**, 913-920.
- THEVENET A., 1995. Abris et refuges pour les communautés de poissons dans les hydrosystèmes fluviaux. Mémoire de D.E.A. Université Claude Bernard Lyon I, Cemagref, BEA/LHQ. 39 pages.
- TRAINOR & CHURCH, 2003. Quantifying variability in stream channel morphology, *Water Resources Research* 39, ESG 5 -1, ESG 5-12.
- VAUGHAN, I.P., DIAMOND, M., GURNELL, A.M., HALL, K.A., JENKINS, A., MILNER, N.J., NAYLOR, L.A., SEAR, D.A., WOODWARD & G., ORMEROD, S.J., 2009. Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. **19**, 113-125.
- WALLERSTEIN N.P., THORNE C.R. & DOYLE M.W, 1997. Spatial distribution and impact of LWD in northern Mississippi, in C.C. Wang, E.J. Langendoen and F.D. Shields editors, *Proceeding of the conference on management of landscapes disturbed by channel incision*, Univ. of Mississippi, Oxford. Pages 145-150.
- WALLIN M., T. WIEDERHOLM & R.K. JOHNSON, 2003. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Final Report to the European Commission from CIS Working Group 2.3 – REFCOND.

WASSON J.G., Malavoi J.R., Maridet L., Souchon Y. & Paulin L., 1998. Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Cemagref éditions. Ministère de l'Environnement. 168 pages.

WENTWORTH C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*. **30**, 377-392.

WIPFLI, M.S., J.S. RICHARDSON & R.J. NAIMAN, 2007. Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems : transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels. *Journal of the American Resources Association*. 43, 72-82.

WOLMAN, M. G, 1954. "A Method of Sampling Coarse River-Bed Material." Transactions, American Geophysical Union. **35** (6), 951-956.

YATES A.G. & R.C. BAILEY, 2009. Selecting objectively defined reference sites for stream bioassessment programs. *Environ Monit Assess*. DOI 10.1007/s10661-009-1221-1

ANNEXE 1: PROTOCOLE EXPERIMENTAL

A. Données générales				
Date :	Observateurs :	Heure de début :		
		Heure de fin :		
Commune :	Lieu-dit :	Toponyme :		
Code tronçon =	Météo :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B. Caractéristiques du tronçon (section de la source à la confluence)				
mesure à l'aide d'un GPS. Les coordonnées amont (source) et aval (première confluence) sont notées.		GPS	X (WGS84)	Y (WGS84)
		Amont		
		Aval		
Le tronçon est-il dans son talweg ? : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non				
<input type="checkbox"/> B1	<input type="checkbox"/> B2	<input type="checkbox"/> B3	<input type="checkbox"/> B4	<input type="checkbox"/> B8
<input type="checkbox"/> B5	<input type="checkbox"/> B6	<input type="checkbox"/> B7		
Si B6 : préciser les rives		R... R...	Si B8 : Largeur du Lit (RG - RD) en m	
B1=peu profond / B2=profond / B3=gorge / B4=vallée en U / B5=bol / B6=vallée asymétrique / B7=pas de vallée évidente / B8 = vallée en terrasse				
C. Délimitation de la station (zone d'étude: distance écologique = 30m)				
	mesure à l'aide d'un topofil et de piquets fins	GPS	X (WGS84)	Y (WGS84)
		Amont		
		Aval		
D. Niveau d'intermittence des écoulements (5 classes)		Nb jours sans pluies :		
<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E
A = Ecoulement continu / B = Ecoulement visible et interstitiel / C = Surface en eau mais absence d'écoulements / D=Surface en eau dans les « profonds » uniquement / E = Pas d'eau visible				
E. Tracé en plan de la station (schéma vue de dessus)				
F. Evaluation des faciès d'écoulement (sur la station de 30m, si présence d'écoulements) Unité = m				
Type de faciès : FD = Fossé de Dissipation (en pied de chute) / PIL = plat lentique ($V < 30\text{cm/s}$) / PIC = plat courant ($V > 30\text{cm/s}$, pente douce) / Rad = Radier ($V > 30\text{cm/s}$, pente moyenne) / Rap = Rapide ($V > 30\text{cm/s}$, pente forte) / Ch = Chute (rupture de pente, avec écoulement vertical)				
Type =				
Longueur =				
(Si fossé) P =				
(Si chute) H =				
Type =				
Longueur =				
(Si fossé) P =				
(Si chute) H =				
P = profondeur / H = hauteur				

4	Débordement le plus bas : <input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		Dberg =						
	Lpb =	Lm =	HT =						
	Hpb =	P. Berges =	En eau?						
	Distance Pb - Lm =	Mesure Lit mouillé	Dberg =						
	Sous berge ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		Hm						
		G =							
5	Débordement le plus bas : <input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		Dberg =						
	Lpb =	Lm =	HT =						
	Hpb =	P. Berges =	En eau?						
	Distance Pb - Lm =	Mesure Lit mouillé	Dberg =						
	Sous berge ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		Hm						
		G =							
6	Débordement le plus bas : <input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		Dberg =						
	Lpb =	Lm =	HT =						
	Hpb =	P. Berges =	En eau?						
	Distance Pb - Lm =	Mesure Lit mouillé	Dberg =						
	Sous berge ? <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		Hm						
		G =							
I. Mesure de la sinuosité de l'amont à l'aval (longueur = 30m) unités : m									
Distance euclidienne amont-aval =									
J. Mesure de la pente (longueur = 30 mètres) unités : cm									
Altitude amont					Altitude aval =				
Ligne d'eau =		Fond du lit =			Ligne d'eau =		Fond du lit =		
K. Mesures Granulométriques (Wolman sur un radier : 50 prélèvements - mm)									
L. Couche d'armure (cm)									
Profondeur =									
Lieu d'observation : <input type="checkbox"/> Berge <input type="checkbox"/> Fond du lit									

A. Données générales								
Code tronçon =								
MESURES A EFFECTUER UNIQUEMENT SUR LA STATION (excepté pour le volet M)								
L. Occupation du sol dans la bande riveraine (15m par rive)								
Rive gauche <input type="checkbox"/> Culture <input type="checkbox"/> Prairie <input type="checkbox"/> Forêt <input type="checkbox"/> Urbain <input type="checkbox"/> ZH <input type="checkbox"/> Largeur non artificialisée ¹ (m) = Largeur non traitée ² (m) =					Rive droite <input type="checkbox"/> Culture <input type="checkbox"/> Prairie <input type="checkbox"/> Forêt <input type="checkbox"/> Urbain <input type="checkbox"/> ZH <input type="checkbox"/> Largeur non artificialisée ¹ (m) = Largeur non traitée ² (m) =			
¹ ne présentant pas de signe d'artificialisation (bétonnage des berges, endiguement, etc...)								
² ne présentant pas de signe de traitement phytosanitaire								
M. Evaluation des zones humides (15 mètres par rive)								
Longueur prospectée = m (min = longueur de la station ; max = longueur du tronçon)								
	Stat.	Tronç.	Rive	Type de zones humides	Long. / larg. (en m)		Connexion au lit	
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD	<input type="checkbox"/> Micro-sources ³ <input type="checkbox"/> ZH	L =	l =	<input type="checkbox"/> indirecte ⁴ <input type="checkbox"/> directe ⁵	
<input type="checkbox"/> Absence de zones humides								
RG : rive gauche / RD : rive droite / ZH : zone humide / L : longueur / l : largeur								
³ le terme "micro-source" qualifie une zone humide présentant de l'eau visible à la surface du sol.								
⁴ Absence de connexion visible de la zone humide avec le lit								
⁵ Connexion se traduisant par un écoulement d'eau entre la zone humide et le cours d'eau								
N. Description de la ripisylve (5m par rive)								
Rive gauche <input type="checkbox"/> Str arborée <input type="checkbox"/> Str arbustive <input type="checkbox"/> Str herbacée Epaisseur de la strate arborée : <input type="checkbox"/> Rideau <input type="checkbox"/> 5-10m <input type="checkbox"/> 10-15m <input type="checkbox"/> >15m Distance moy. au pied de berge (m) = Nb d'arbres développant un chevelu racinaire en pied de berge =					Rive droite <input type="checkbox"/> Str arborée <input type="checkbox"/> Str arbustive <input type="checkbox"/> Str herbacée Epaisseur de la strate arborée : <input type="checkbox"/> Rideau <input type="checkbox"/> 5-10m <input type="checkbox"/> 10-15m <input type="checkbox"/> >15m Distance moy. au pied de berge (m) = Nb d'arbres développant un chevelu racinaire en pied de berge =			
Nombre d'arbres ⁶ :					Nombre d'arbres :			
Semis		Perches			Semis		Perches	
Nbre:		Nbre:			Nbre:		Nbre:	
Bois		Gros bois			Bois		Gros bois	
Nbre:		Nbre:			Nbre:		Nbre:	
⁶ Classes de diamètres : Semis = <5cm / Perches = 5-15cm / Bois = 15-45cm / Gros bois : >45cm								
Espèces de la strate arborée et arbustive (nom commun)								
1		5		9		13		
2		6		10		14		
3		7		11		15		
4		8		12		16		

Présence de bois en rivière dans le cours d'eau (diamètre supérieur à 3 cm ou bois à fort impact morpho) (cm)														
Diamètre :														
Longueur :														
Rôle ⁷ :														
Diamètre :														
Longueur :														
Rôle ⁷ :														
Diamètre :														
Longueur :														
Rôle ⁷ :														
⁷ BOF: Barrage Ouvert au Fond / BS : Barrage Strict / ED: Entassement Défecteur / EP : Entassement Parallèle / I : Indéterminé / RMO : Rétention de la Matière Organique														
Estimation du volume de litière (Station, 5m par rive)														
Rive gauche Litière : <input type="checkbox"/> présence <input type="checkbox"/> absence Type : <input type="checkbox"/> feuillus <input type="checkbox"/> résineux <input type="checkbox"/> mixte Epaisseur moyenne (cm) = Longueur cumulée (m) = Largeur moyenne (m) =								Rive droite Litière : <input type="checkbox"/> présence <input type="checkbox"/> absence Type : <input type="checkbox"/> feuillus <input type="checkbox"/> résineux <input type="checkbox"/> mixte Epaisseur moyenne (cm) = Longueur cumulée (m) = Largeur moyenne (m) =						
O. Eclaircissement moyen du lit mineur (matériel expérimental en développement) : 4 mesures														
1		2		3		4		X=						
Q. Erodabilité des berges														
Rive gauche														
Position	Matériau constitutif⁸	Végétation	Appréciation sur l'érodabilité				<input type="checkbox"/> nulle <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> importante							
Haut de berge		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non												
Milieu de berge		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non												
Bas de berge		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non												
Rive droite														
Position	Matériau constitutif⁸	Végétation	Appréciation sur l'érodabilité				<input type="checkbox"/> nulle <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> importante							
Haut de berge		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non												
Milieu de berge		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non												
Bas de berge		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non												
⁸ Affleurement rocheux = R / Argiles = A / Limons = L / Sables = S / Gravier = G / Pierre = P														
R. Observations														

**Protocole d'évaluation du fonctionnement
hydromorphologique des cours d'eau en tête
de bassin versant en état de référence sur le
territoire de la DIR 2.**

Version provisoire et non finalisée du 10/04/2013.

SOMMAIRE

1. Introduction
2. Phase d'échantillonnage de terrain
 - 2.1. Période d'échantillonnage
 - 2.2. Mesures et précautions d'usage
 - 2.3. Mesures principales
 - 2.3.1. Caractéristiques du tronçon
 - 2.3.2. Délimitation de la station
 - 2.3.3. Niveau d'intermittence des écoulements
 - 2.3.4. Tracé en plan de la station
 - 2.3.5. Estimation de la rugosité – Méthode de Cowan
 - 2.3.6. Mesures du gabarit du lit
 - 2.3.7. Mesure de la sinuosité Amont-aval
 - 2.3.8. Mesure de la pente
 - 2.3.9. Mesures granulométriques
 - 2.4. Mesures complémentaires
 - 2.4.1. Occupation du sol dans la bande riveraine (L ; 15m par rive)
 - 2.4.2. Evaluation des zones humides (M ; 15m par rive)
 - 2.4.3. Description de la ripisylve (N ; 5m par rive)
 - 2.4.4. Eclairement moyen du lit mineur (O)
 - 2.4.5. Evaluation des faciès d'écoulement (M)

1. Introduction

Dans le cadre de l'étude des cours d'eau en tête de bassin versant, initiée sur le territoire de la Délégation interrégionale Bretagne–Pays de la Loire, un protocole d'étude hydromorphologique des cours d'eau de tête de bassin versant est proposé. Ce protocole s'inspire en grande partie du protocole de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau (CARHYCE) et des travaux d'Aurélia Mathieu

(2010). Dans un premier temps, le protocole a pour enjeu principal la caractérisation du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant en situation de référence. L'identification des valeurs moyennes caractérisant la géométrie du lit pourra guider de futures restaurations. Il a également pour vocation d'identifier des variables morphologiques et de construire des indicateurs permettant dans un second temps de comparer tout cours d'eau avec cette situation de référence et d'évaluer le degré de perturbation.

Ce protocole se base principalement sur des données hydromorphologiques quantitatives, il permettra de ce fait de limiter au maximum le recours à l'appréciation et donc de limiter le « biais opérateur ». Les données ainsi recueillies pourront *in fine* caractériser un échantillon de station représentatif de l'état de référence des cours d'eau à l'échelle régionale.

2. Phase d'échantillonnage de terrain

2.1. Période d'échantillonnage

Le caractère intermittent d'une grande majorité des cours d'eau en tête de bassin versant nécessite de réaliser les mesures en période d'hydrologie importante. De plus, lorsque la végétation commence à être dense, ces petits cours d'eau deviennent très vite inaccessibles.

Ainsi, ce protocole doit être effectué préférentiellement entre Octobre et Mai. En fonction du contexte annuel climatique, ces périodes peuvent être adaptées.

De nombreux protocoles préconisent l'échantillonnage lorsque les débits sont stabilisés depuis 8 à 10 jours. Ce temps correspond, en termes d'hydraulique, au délai de réponse du cours d'eau suite à un évènement pluvieux. Les cours d'eau en tête de bassin versant, du fait de leur position apicale sur le réseau hydrographique, ont une capacité de réponse beaucoup plus rapide. Dans ce protocole, pour effectuer les mesures morphologiques, les débits devront être stabilisés, au minimum, depuis 5 jours. Cette contrainte permet de mieux discriminer les faciès d'écoulements qui ont tendance à se lisser lorsque le débit augmente.

2.2. Mesures et précautions d'usage

En dépit de leurs nombreux services écologiques rendus, les cours d'eau de tête de bassin versant sont des milieux biologiquement vulnérables et morphologiquement fragiles, notamment à cause de leur faible puissance spécifique (Mathieu, 2010). De ce fait, il est important d'imposer certaines mesures de précaution sanitaire lors de l'échantillonnage afin de limiter toute dégradation possible sur ces petits cours d'eau :

- Limiter les mesures au strict nécessaire dans le lit ;
- Eviter le piétinement dans le lit mouillé ;

- Privilégier les mesures ponctuelles ;
- Eviter l'extraction de bois morts (notamment lors de la prise de mesures des débris ligneux) ;
- Désinfecter l'ensemble du matériel utilisé (Exemple : ammonium quaternaire dilué) lors de chaque changement de cours d'eau à échantillonner. Ceci limitera les risques de contagion

2.3. Mesures principales

2.3.1. Caractéristiques du tronçon

Le tronçon désigne le linéaire de cours d'eau, ici de rang 1, allant de sa zone de source en amont jusqu'à sa confluence avec d'autres cours d'eau en aval. La première mesure est par conséquent la prise des coordonnées GPS du tronçon : amont et aval. La forme de la vallée où se trouve le tronçon est alors caractérisée (cf. *figure 1*).

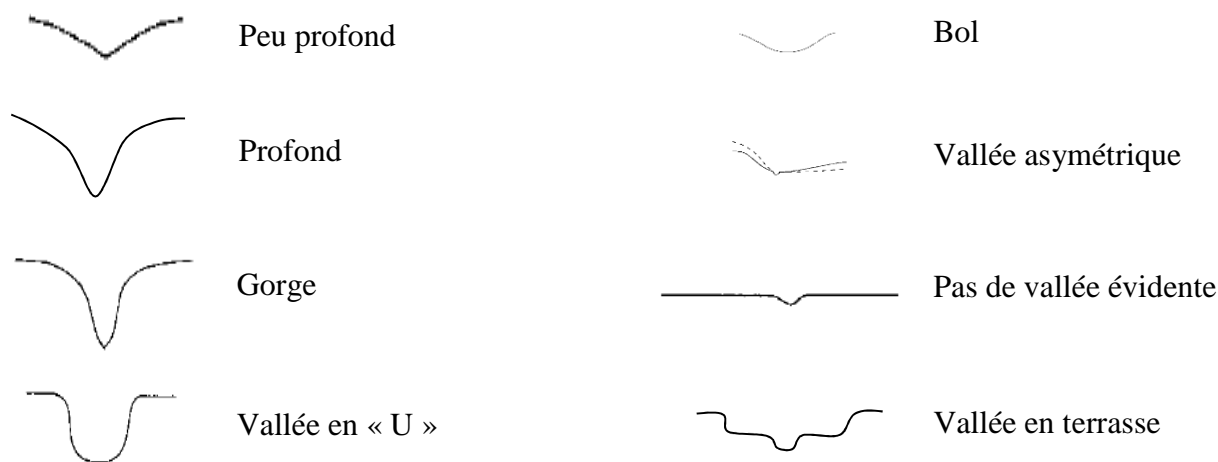


Figure 1 : Représentation des différentes formes de vallées (d'après EA, 2003).

2.3.2. Délimitation de la station

La station correspond à la zone d'échantillonnage. Elle doit se positionner entre la zone source et la première confluence. Cette zone doit être représentative du tronçon (pente, faciès d'écoulement, ripisylve). Sa longueur est fixée à 30 mètres⁸ (Mathieu, 2010). Cette distance correspond à la distance écologique, à savoir la distance effectivement parcourue par le cours d'eau (Cf. *figure 2*). Pour mesurer cette longueur, un topefil et des piquets (ou sardines de camping) sont nécessaires.

Le principe est simple : il suffit de faire suivre le topefil le long du cours d'eau en plantant des piquets à chaque changement de direction du lit mouillé.

⁸ Le protocole utilisé dans le cadre de l'étude menée par Aurélie Mathieu préconisait une longueur de station égale à 20 fois la largeur à plein bord du cours d'eau. Pour les mesures de sinuosité et de pente, le retour d'expérience montre qu'une longueur plus importante s'avère être nécessaire.

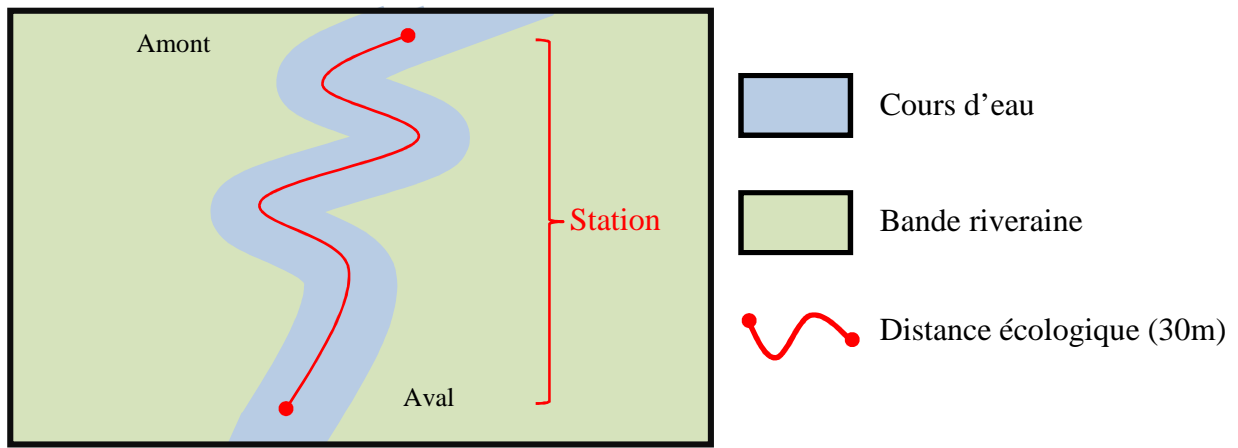


Figure 2 : Station délimitée par la distance écologique (30m).

2.3.3. Niveau d'intermittence des écoulements

5 catégories sont proposées afin de qualifier l'intermittence des écoulements au sein de la station (Fritz *et al.*, 2006) :

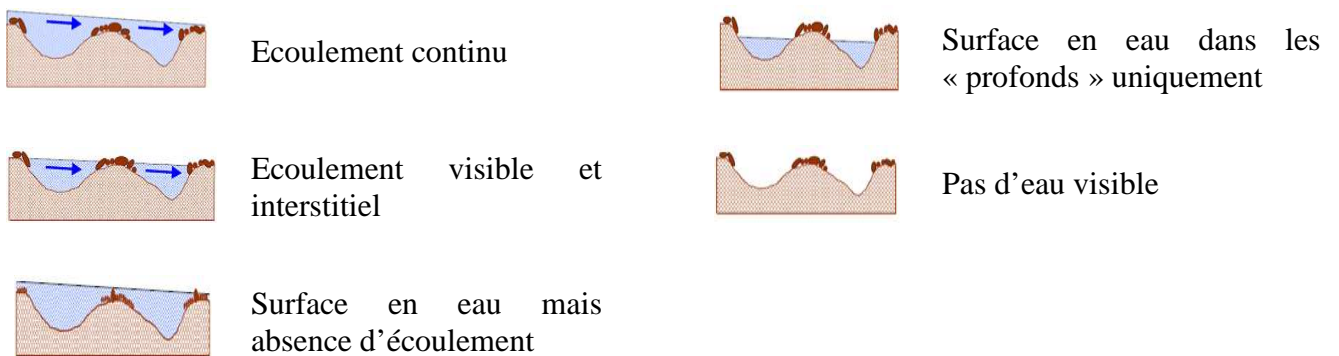


Figure 3 : Illustration des différents types d'écoulement au sein du cours d'eau

2.3.4. Tracé en plan de la station

Le tracé en plan est une « vue de dessus » de la station. Il permet de mettre en évidence le profil de sinuosité du cours d'eau, mais également les variations de largeurs du lit. Ce schéma devra également localiser l'ensemble des transects (Cf. 2.3.6) ainsi que les points de chute naturelle. Lors de sa réalisation, une distinction « amont » et « aval » est nécessaire.

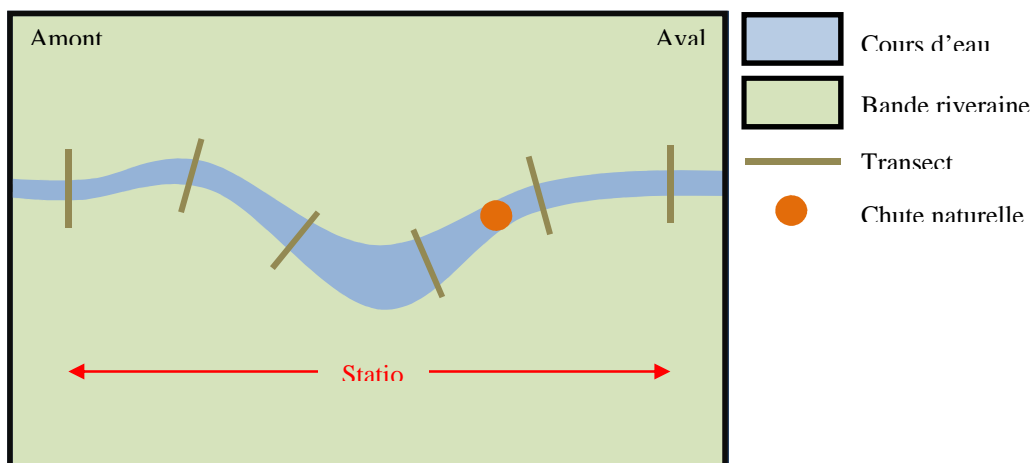


Figure 4 : Exemple type d'un tracé en plan

2.3.5. Estimation de la rugosité – Méthode de Cowan

L'estimation du coefficient de rugosité (appelé aussi coefficient de Strickler) est un paramètre clef dans le calcul de la formule de Manning-Strickler permettant d'estimer le débit du cours d'eau (noté Q).

$$Q = s \times R h^{2/3} \times i^{1/2} \times K$$

Q = Débit du cours d'eau (m.s⁻¹)

S = Section mouillée (m²)

Rh = Rayon hydraulique (m) = $\frac{\text{section mouillée (m}^2\text{)}}{\text{Périmètre mouillé (m)}}$

i = Pente de la ligne d'eau

K = Coefficient de rugosité

Plusieurs formules (tel que celle de Manning ou encore celle de Cowan) peuvent être utilisées pour estimer le coefficient de rugosité. Nous utiliserons ici la méthode de Cowan (1956), qui permet une estimation relativement simple et assez précise du coefficient de rugosité.

Formule de Cowan :

$$n = 1 / [(n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m] \quad \text{avec} \quad K = \frac{1}{n}$$

Tableau 1 : Valeurs du coefficient n_b

Matériau	Taille (mm)	n _b	
		Min	Max
Limon	< 0.625	0.025	0.032
Sables	0.625 - 2	0.026	0.035
Graviers	2 - 64	0.028	0.035
Pierres	64 - 256	0.030	0.050
Blocs	>256	0.040	0.070

Tableau 2 : Valeurs du coefficient n₂

Degré d'irrégularité	n ₁		Descriptif
	Min	Max	
Paroi lisse	0.000		Comparable au canal le plus lisse possible pour un matériau du lit donné.
Irrégularités légères	0.001	0.005	Comparable à des canaux dragués soigneusement, dans un bon état mais avec des berges légèrement érodées ou affouillées.
Irrégularités modérés	0.006	0.010	Comparable à des canaux dragués à la rugosité modérée à conséquente et aux berges modérément dégradées ou érodées.
Irrégularités importantes	0.011	0.020	Berges de cours d'eau naturels éboulés ou sérieusement dégradées ; Parois sérieusement érodées ou éboulées de canaux de navigation ou de drainage ; surface irrégulière et non profilée de canaux creusés dans le rocher.

Tableau 3 : Valeurs du coefficient n_2

Variation de la section	n_2		Descriptif
	Min	Max	
Progressive	0.000		La taille et la forme de la section en travers changent progressivement.
Alternant occasionnellement	0.001	0.005	Grandes sections et sections réduites alternant parfois, ou bien le courant principal se déplace d'une rive à l'autre en raison des changements de la forme de la section en travers.
Alternant fréquemment	0.010	0.015	Grandes sections et sections réduites alternant fréquemment, ou bien le courant principal se déplace d'une rive à l'autre en raison des changements de forme de la section en travers.

Tableau 4 : Valeurs du coefficient n_3

Présence d'obstacles	n_3		Descriptif
	Min	Max	
Négligeable	0.000	0.004	Quelques obstacles épars, incluant dépôts de débris, souches, racines apparentes, branchages, piles ou rochers isolés, occupant moins de 5% de la section mouillée.
Faible	0.005	0.015	Les obstacles occupent moins de 15% de la section mouillée, et l'espacement entre ceux-ci est tel que la sphère d'influence autour de l'un d'entre eux ne s'étend pas jusqu'à celle de l'obstacle suivant. De plus petits ajustements sont utilisés pour des objets arrondis et lisses que pour des objets anguleux.
Sensible	0.020	0.030	Les obstacles occupent de 15 à 50% de la section mouillée, ou bien l'espace entre ceux-ci est assez réduit pour provoquer le cumul des effets dus à différents obstacles, obstruant ainsi une partie équivalente de la section mouillée.
Très marqué	0.040	0.050	Les obstacles occupent plus de la moitié de la section mouillée, ou bien l'espace entre eux est assez réduit pour générer de la turbulence dans la quasi-totalité de la section.

Tableau 5 : Valeurs du coefficient n_4

Quantité de végétation	n_4		Descriptif
	Min	Max	
Négligeable	0.000		Herbe fauchée ou vesce sur les berges du cours d'eau.
Faible	0.002	0.010	Surface dense d'herbe souple ou plantes aquatiques poussant là où la profondeur de l'eau atteint au moins une à deux fois la taille de la végétation.
Moyenne	0.025	0.050	Gazon poussant là où la profondeur moyenne de l'eau et de une à deux fois la taille de la végétation ; plantes racinaires modérément denses, plantes aquatiques, ou arbres plantés, poussant là où la profondeur moyenne de l'eau est de deux à trois fois la hauteur de la végétation ; végétation modérément dense, buissonnante, comparable à des saules âgés d'un à deux ans en morte saison, ou bien de hautes herbes et plantes à tige souple en haute saison, poussant le long des berges et sans végétation notable sur le fond de cours d'eau dont le rayon hydraulique est supérieur à 60cm.
Importante	0.025	0.050	Gazon poussant là où la profondeur moyenne est environ égal à la hauteur de la végétation ; saules ou peupliers âgés de 8 à 10 ans entremêlés de mauvaises herbes et de buissons (tous sans feuillage) où le rayon hydraulique est supérieur à 60cm ; saules buissonnantes âgés d'un an entremêlés de mauvaises herbes sur les berges (feuillage complet) et pas de végétation notable sur le fond de cours d'eau où le rayon hydraulique est supérieur à 60cm.
Très importante	0.050	0.100	Gazon poussant là où la profondeur de l'eau n'excède pas la moitié de la hauteur de la végétation ; saules buissonnantes d'environ un an entremêlés de mauvaises herbes ou de buissons (feuillage complet) ou roseaux denses poussant sur le fond ; arbres entremêlés de mauvaises herbes et de buissons (feuillage complet).

Tableau 6 : Valeurs du coefficient m

Méandrement	m	Distance écologique / distance euclidienne
Modéré	1.00	1 – 1.2
Appréciable	1.15	1.2 – 1.5
Important	1.30	> 1.5

2.3.6. Mesures du gabarit du lit

Les différentes mesures associées au gabarit du lit (*largeur plein bord* (L_{pb}), *largeur du lit mouillé* (L_m), *hauteur plein bord* (H_{pb}), *hauteur totale* (H_T), *et le périmètre des berges*) sont des variables qui caractérisent la géométrie du lit. Elles permettent également de calculer le débit de plein bord du cours d'eau (Cf. 2.3.5). Cette valeur de débit de plein bord (Q_{pb}) permet de calculer la puissance spécifique du cours d'eau (w), qui est paramètre déterminant de la dynamique fluviale. Plus elle est élevée, plus le cours d'eau a des capacités à éroder ses berges (si celles-ci ne sont pas cohésives) et à transporter ses alluvions (CARHYCE).

Au total, 6 transects sont réalisés sur la station. Ils sont positionnés tous les 6 mètres.

L'ensemble de ces mesures s'illustre dans le schéma suivant :

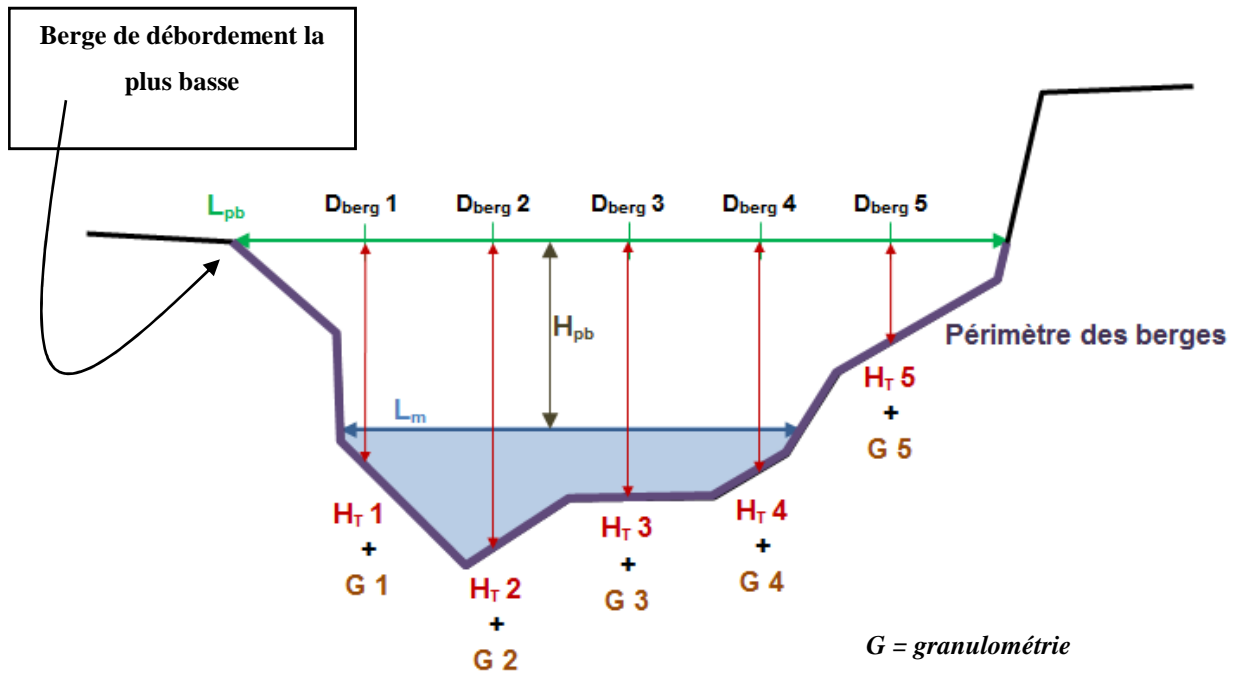


Figure 5 : Détail des mesures du gabarit du lit

Mesure de la largeur plein bord, de la largeur mouillée, de la hauteur plein bord et du périmètre des berges (CARHYCE, 2008 ; Mathieu, 2010) :

Le point de débordement le plus bas de la berge est repéré. Sa position par rapport au cours d'eau est ensuite précisée (rive gauche ou rive droite). La largeur plein bord est mesurée à partir de ce point, quelle que soit sa position (la mesure se fera à l'aide d'une longue règle et d'un niveau à bulle). La hauteur plein bord est par la suite calculée : elle correspond à la hauteur entre la ligne d'eau et la largeur plein bord. La largeur mouillée et le périmètre des berges à plein bord sont ensuite mesurés (si absence d'eau, largeur mouillé = 0).

Mesure des données complémentaires : Hauteur totale et granulométrie (CARHYCE, 2008 ; Mathieu, 2010).

Sur chaque transect, 5 mesures placées à $1/6^{\text{ème}}$ de la largeur de plein bord sont réalisées. A chacun de ces points de mesure, la Hauteur Totale (H_T) à plein bord est mesurée. Elle correspond à une distance verticale allant du niveau de plein bord jusqu'au fond du lit. Un élément granulométrique est enfin prélevé puis mesuré au fond du lit de chaque point de mesure H_T . Il sera classé dans une des catégories de l'échelle granulométrique de Wentworth (Cf. tableau 7).

A chaque point de mesure, l'observateur fera descendre son doigt au fond du lit mouillé, sans regarder l'élément prélevé, afin d'éviter le biais de choisir instinctivement l'élément le plus grossier. Au premier

contact du doigt avec le fond du lit, l'observateur remontera l'élément granulométrique à la surface puis le mesurera (en mm). La mesure de la granulométrie est effectuée sur le deuxième axe le plus long de chaque élément.

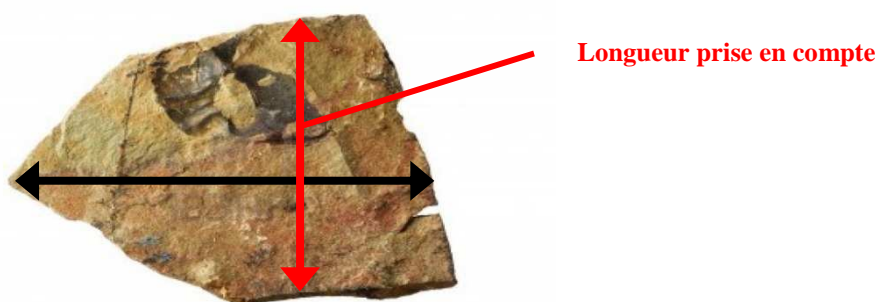


Figure 6 : Détail de la mesure granulométrique

L'unité prise en compte dans chacune des mesures est le centimètre (exceptée pour la mesure granulométrique, exprimée en millimètre).

Tableau 6 : Echelle granulométrique de Wentworth.

Nom de la classe granulométrique	Classe de taille (diamètre en mm)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d'argiles)	> 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	0.625 – 2	S
Limons	0.0039 – 0.625	L
Argiles	< 0.0039	A

2.3.7. Mesure de la sinuosité Amont-aval

Dans ce protocole, la sinuosité est calculée à l'aide de la distance écologique et de la distance euclidienne (Mathieu, 2010). La distance écologique correspond à la longueur de la station, elle a déjà été délimité (Cf. 2.3.2), il suffit alors de mesurer la distance euclidienne entre les points amont et aval de la station (Cf. figure 6).

La sinuosité de la station correspondra au rapport suivant :

$$\frac{\text{Distance écologique (m)}}{\text{Distance euclidienne (m)}}$$

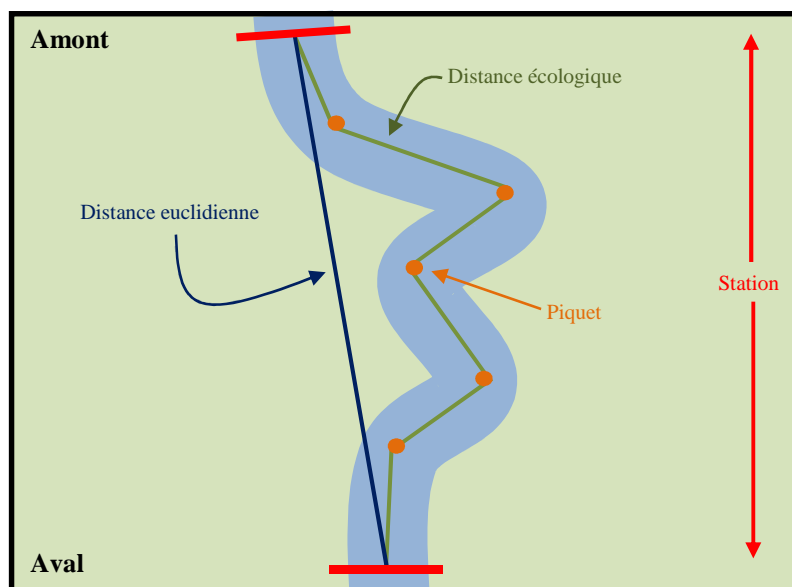


Figure 7 : Mesure de la sinuosité de la station

2.3.8. Mesure de la pente

Sur le plan morphologique, la pente est un paramètre fondamental qui participe à la géométrie du cours d'eau (Degoutte, 2006 ; d'après Mathieu, 2010). Elle permet d'exprimer, couplée au débit, une notion de puissance de l'écoulement (CARHYCE, 2008). C'est aussi un paramètre nécessaire au calcul de la formule de Manning-Strickler (Cf. 2.3.5.). La pente mesurée dans ce protocole est celle de la ligne d'eau. En cas d'absence d'eau constaté lors des opérations de mesure, la pente mesurée correspondra à celle du lit. La différence d'altitude entre les points amont et aval de la section sera mesurée à l'aide d'un niveau optique.

Les deux points (amont et aval) pris lors de la mesure de la pente devront présenter un faciès d'écoulement identique. Il est conseillé de commencer et de finir par un radier (en cas d'absence de radeaux, effectuez ces mesures sur un plat. Evitez les fosses).

La pente s'exprimera alors comme le rapport de l'altitude entre les deux points amont/aval (m) et la longueur de la station (longueur écologique = 30m).

2.3.9. Mesures granulométriques

La mesure de la granulométrie s'effectue pour chaque station au niveau d'un radier, qui représente la zone de dépôt de la fraction la plus grossière de la charge alluviale du fond en transit. Cette mesure présente un double intérêt (CARHYCE, 2008) :

- Intérêt « typologique » : elle permet de ranger les cours d'eau dans un 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.

Le protocole CARHYCE prévoit de prélever puis mesurer 100 éléments sur le radier le plus grossier de la station, à l'aide d'un instrument de mesure d'une précision millimétrique (type pied à coulisse). Ce même protocole précise qu'en cas de présence de petits radiers sur le cours d'eau (ce qui est généralement le cas en tête de bassin versant), un prélèvement limité à 50 éléments sera suffisant. Nous nous limiterons donc à cette deuxième option.

Modalités de mesure des éléments : le plus gros radier de la station est choisi comme site de prise de mesure (Si la station ne présente pas de radier, il faudra choisir le plat courant le plus important de la station). Une fois le site choisi, un prélèvement perpendiculaire à l'axe de l'écoulement est effectué à chaque 1/10 de la largeur mouillée (en vérifiant que cette distance est supérieure à la granulométrie mobile naturelle la plus grossière du radier – valeur qui doit être la distance minimale à respecter (CARHYCE)). Le cheminement des prélèvements se fera en forme de « S » (Cf. figure 7).

L'opération est à renouveler 50 fois. Les 50 éléments mesurés sont par la suite classés dans une des catégories de l'échelle granulométrique de Wentworth (1922) (Cf. tableau 7).

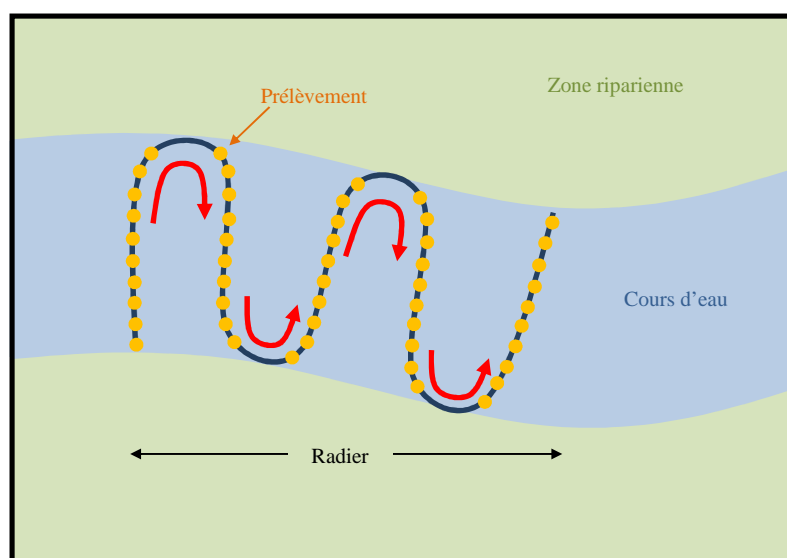


Figure 8 : Illustration du cheminement des prélèvements granulométriques

2.4. Mesures complémentaires

Les différentes variables qui suivent sont observées selon un axe longitudinal et latéral. L'axe longitudinal correspond à la distance écologique de la station (30m). L'axe latéral correspond à une zone tampon située de part et d'autre du cours d'eau, qui peut changer suivant le paramètre étudié. L'ensemble des différentes emprises est détaillé dans le schéma suivant :

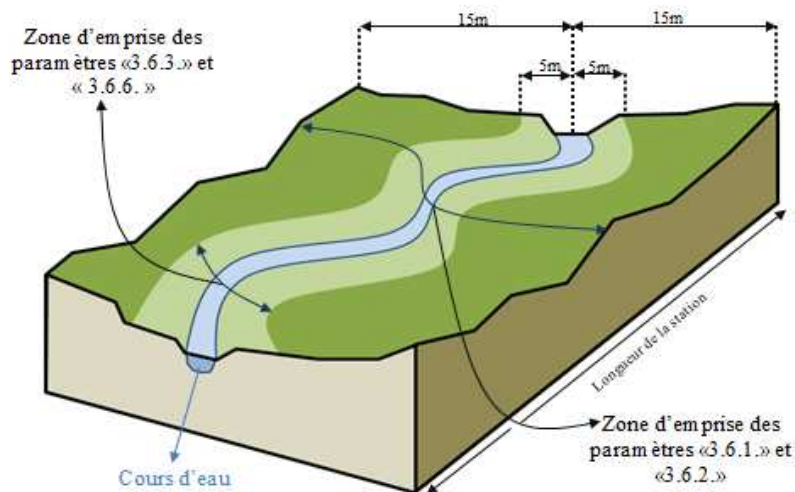


Figure 9 : Zone d'emprise des paramètres complémentaires

2.4.1. Occupation du sol dans la bande riveraine (15m par rive)

L'occupation du sol est un paramètre majeur permettant de caractériser la bande riveraine. C'est également un élément indispensable dans la détermination des pressions exercées sur l'environnement, et en particulier sur l'eau.

Sans ce protocole, 6 types de couverture du sol sont retenus :

3. Culture
4. Prairie
5. Forêt
6. Urbain
7. Zone Humide (ZH)
8. Autre (...)

Il suffit ici de cocher le type de recouvrement majoritaire pour chaque berge.

Il sera également précisé pour chaque rive la largeur non traitée (ne présentant pas de signe visibles d'utilisation de produits phytosanitaires) et la largeur non artificialisée, autrement dit la largeur ne présentant pas de signe d'actions d'origine anthropique (bétonnage des berges, endiguement, présence de bitume, etc...).

2.4.2. Evaluation des zones humides (15m par rive)

Les cours d'eau de tête de bassin versant sont en relation avec d'autres compartiments. Parmi ces relations, les interactions cours d'eau-zones humides sont relativement abondantes au sein de ces systèmes. Une étude menée par Janish et al, (2012) a montré que 66% des cours d'eau de tête de bassin versant possédaient au moins une zone humide. Cette étude a également mis en évidence la petite taille de ces zones humides, généralement inférieure à 200m².

Ce volet permet de relever, à l'échelle du tronçon (Tronç.) et de la station (Stat.), l'ensemble des zones humides observées sur le terrain. Plusieurs paramètres sont alors mesurés :

- La position de la zone humide par rapport au cours d'eau⁹ (rive gauche ou rive droite).
- Le type de zone humide :
 - micro-source : La zone humide est caractérisée par la présence d'eau à la surface du sol
 - zone humide : La zone humide ne présente pas d'eau en surface du sol. Elle présente néanmoins une végétation spécifique à ce type de milieu.
- La superficie : longueur et largeur (m) de la zone humide sont évaluées afin de pouvoir estimer sa surface (m²).

La connexion au lit : permet déterminer si la zone humide a une connexion directe (de surface, avec un écoulement visible) ou indirecte (souterraine, non visible) avec le lit mouillé.

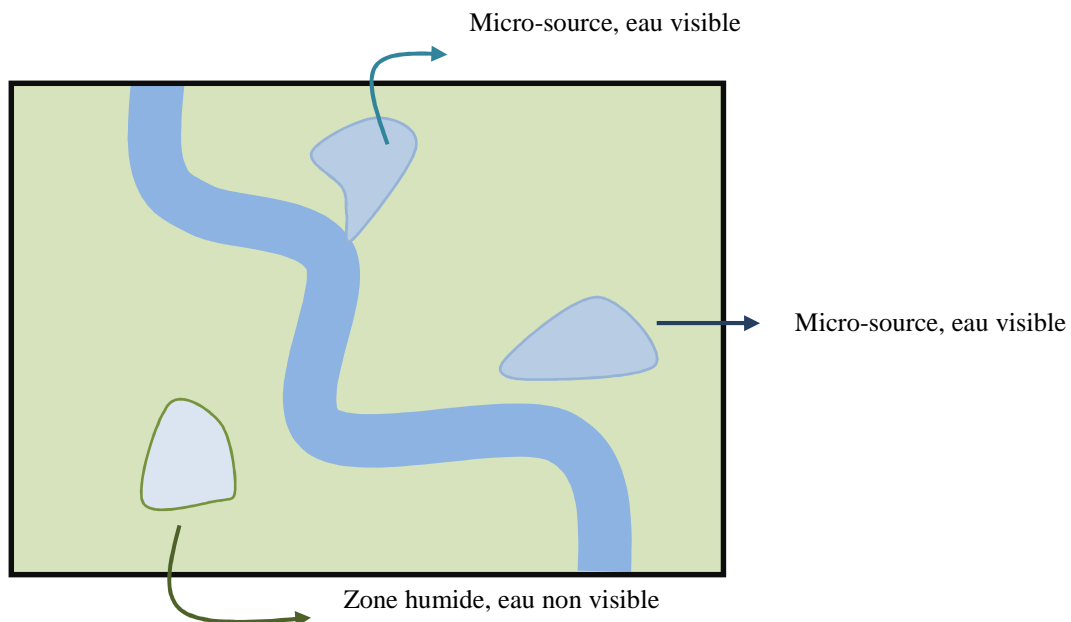


Figure 10 : Type de zones humides et connectivité au lit

⁹ La détermination de la rive gauche et droite s'effectue en se positionnant face au cours d'eau, dans le sens de l'écoulement, dos à l'amont. La rive droite sera alors à droite, la rive gauche à gauche.

2.4.3 Description de la ripisylve (5m par rive)

L'étude de la ripisylve vise à caractériser sa structure et sa composition, paramètres exerçant un important contrôle sur les processus géodynamiques, notamment par une protection mécanique des berges et un rôle stabilisateur des processus d'érosion latérale (Malavoi et Bravard, 2010). Elle permet également d'évaluer son influence sur la morphologie du cours d'eau.

La zone d'étude s'étend sur l'ensemble de la station (30m écologique), sur une largeur de 10m, soit 5m par rive (Cf. figure 9).

Plusieurs paramètres sont évalués pour chaque rive (adapté de Hayot, 2011) :

- **Le nombre de strates** (arborée, arbustive ou herbacée) : Plus le nombre de strates est important, plus l'hétérogénéité biologique est élevée et plus la résistance/résilience face aux agressions est importante.
- **L'épaisseur de la strate arborée** (en m) : Nous apporte des informations sur son rôle microclimatique (limitation de l'élévation de la température, baisse de l'évapotranspiration, limitation du développement des espèces invasives, réduction de l'eutrophisation) et son rôle épurateur (capacité de filtration des eaux : phosphates, nitrates).
- **Distance au pied de berge** : permet de mesurer l'efficacité de son rôle dans le maintien des berges.
- **Le nombre d'arbres présentant un chevelu racinaire en pied de berge** : la ripisylve joue un rôle important dans le maintien des berges. Plus le système racinaire des arbres en pied de berge est développé, plus il permet une de stabiliser et renforcer les berges.
- **Nombre d'arbres** : permet d'estimer la densité de la ripisylve.

Espèces de la strate arborée et arbustive :

L'inventaire spécifique des essences présentes à proximité du cours d'eau permet d'estimer la diversité spécifique de la ripisylve. Plus la diversité est élevée, plus la ripisylve présente des facteurs favorables au maintien du bon fonctionnement écologique des cours d'eau (Hayot, 2011). Cet inventaire permet également de révéler les risques d'invasions biologiques ou de plantations monospécifiques. En effet, outre la baisse de diversité biologique causée par ces phénomènes, ils peuvent également altérer la composition et la stabilité du substrat (Gurtz & Wallace, 1984), ou bien entraîner la transmission de maladies.

L'étude propose d'identifier chaque essence présente le long de la station, sur une largeur de 10m (5m par rive). Pour faciliter la détermination, un guide d'identification des arbres et arbustes est joint au protocole.

Présence de bois en rivière :

Le bois en rivière est un élément clé du fonctionnement écologique des eaux (Albert, 1998 ; Boyer, 1998 ; Thevenet, 1995, d'après Moulin, 2005). Il est relativement abondant au sein du réseau hydrographique, en particulier dans les petits cours d'eau où il peut recouvrir 50% du chenal. Les bois en rivière présentent de nombreux rôles géomorphologiques et écologiques (Brooks *et al.*, 2001):

- transport ou stockage des sédiments
- stabilisation des berges
- augmentation de la biodiversité des écosystèmes
- frein naturelle à l'écoulement

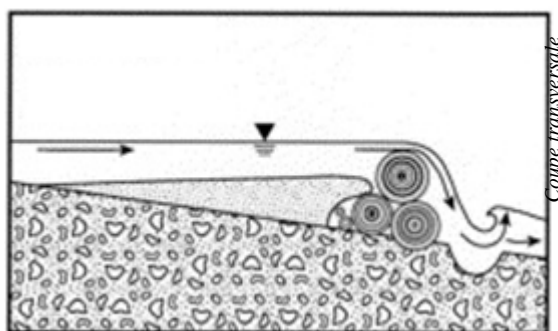
Les quantités de bois en rivière varient selon plusieurs paramètres : la composition spécifique et l'âge de la bande riveraine, les évènements hydrologiques, les caractéristiques géomorphologiques, la taille du cours d'eau et les perturbations anthropiques (Moulin, 2005).

La majorité des études effectuées sur les bois en rivières des cours d'eau de rang 1 ont pris en considération les bois d'un diamètre minimal de 10cm et d'une longueur minimal d'1m (Fetherson *et al.*, 1995 ; Richmond & Faush, 1995 ; Piégay & Gurnell, 1997 ; Curran & Wohl, 2003 ; Kraft & Warren, 2003, d'après Moulin, 2005). Nous avons décidé de s'appuyer sur ces mêmes mesures.

Modalités de mesure : Au sein de la station, on comptabilise l'ensemble des éléments ligneux (supérieur ou égal à la taille de référence) présents dans le cours d'eau. La longueur et le diamètre sont précisés pour chaque élément observé. En plus de ces informations, le rôle que joue l'embâcle sur la morphologie du cours d'eau sera également noté.

Cette dernière donnée se base sur la classification de Wallerstein *et al.* (1997), qui propose 4 relations fonctionnelles du bois en rivière sur la morphologie du chenal :

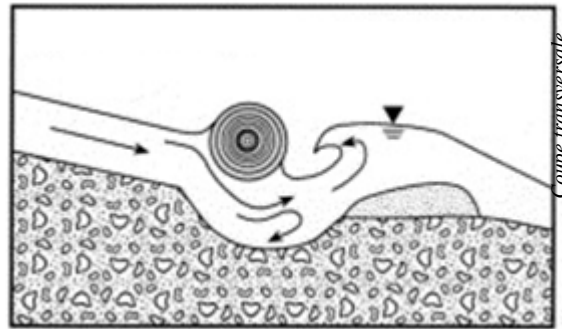
- **Le barrage strict :** barrage formant un seuil de bois en travers du chenal, cette disposition piège les sédiments et créer une chute naturelle en aval.



Source : Wallerstein *et al.*, 1997

Figure 11 : Barrage strict

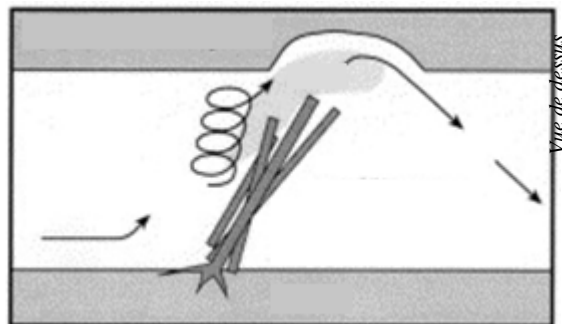
- **Le barrage ouvert au fond** : le bois est toujours placé en travers du chenal, mais il présente une ouverture au fond du lit, entraînant une érosion locale du fond.



Source : Wallerstein et al, 1997

Figure 12 : Barrage ouvert au fond du lit

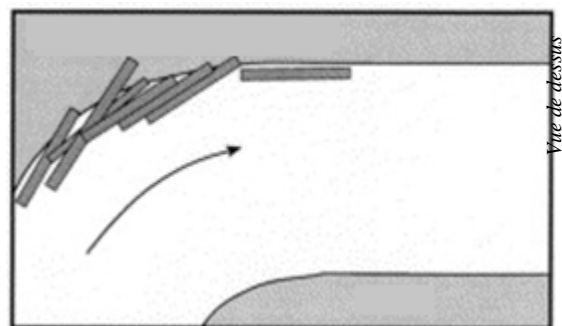
- **L'entassement déflecteur** : Le bois est entassé à l'oblique du chenal, ce qui dévie l'écoulement et provoque une érosion latérale des berges.



Source : Wallerstein et al, 1997

Figure 13 : Entassement de type "déflecteur"

- **L'entassement parallèle** : Le bois est entassé à la parallèle de l'écoulement. Cette disposition a un impact morphologique important puisqu'il contribue à la formation de bancs et de mouilles.



Source : Wallerstein et al, 1997

Figure 14 : Entassement parallèle

S'il est impossible de déterminer le rôle de l'embâcle, précisez «Indéterminé (I)» dans la cellule correspondante.

2.4.4 Eclairage moyen du lit mineur (0)

La lumière joue un rôle déterminant sur la biologie des cours d'eau. C'est elle qui permet l'installation d'un cordon de feuillus sur les berges et assure une production primaire minimum au niveau du lit. La lumière doit être apportée de manière raisonnée. Un manque de lumière, observé lors de

plantations d'espèces de type résineux, peut avoir pour conséquence l'appauvrissement du milieu et l'augmentation de la vulnérabilité des sols. Un excès de lumière peut également être néfaste pour le cours d'eau car il provoque un trop fort développement de la production primaire et peut être la cause d'un réchauffement trop important de l'eau (Schneider, 2007).

D'après le même auteur, l'éclairement moyen que bénéficie le cours d'eau doit être de 15 à 20% de l'éclairement maximum.

Les cours d'eau, et notamment ceux situés en tête de bassin versant, présente une forte hétérogénéité d'éclairement du lit. 4 mesures d'éclairement sont alors prises le long de la station. Une moyenne des 4 mesures est par la suite effectuée.

Modalités de mesures : Les mesures sont prises à l'aide d'un appareil expérimental, permettant de mesurer la quantité de lumière disponible (en lumens). Une mesure « sans obstacle » est prise. Elle permet de déterminer la quantité maximale de lumière disponible. Une fois cette mesure prise, 4 mesures sont effectuées au-dessus du lit, le long de la station, à des endroits représentatifs du cours d'eau.

Estimation du volume de litière :

La quantité de ressources disponibles dans l'écosystème est un facteur clé qui détermine la distribution spatiale des organismes, qui, à terme, contribuent au fonctionnement de l'écosystème (Tiegs *et al.*, 2008). La litière issue de la végétation terrestre est considérée comme ressource fondamentale de nombreux cours d'eau (Wallace *et al.*, 1999). C'est une source nutritionnelle nécessaire au maintien des communautés biologiques du sol et des milieux aquatiques. Sa valeur nutritionnelle est conditionnée par le type de litière présente. Ainsi, une litière de pins s'avère être nutritionnellement inférieure à beaucoup de litières de feuilles caduques (Taylor *et al.*, 1989 ; Klemmedson, 1992 ; Friberg & Jacobsen, 1994). De ce fait, les communautés biologiques et leur rôle au sein du cours d'eau peuvent être négativement affectés à cause de l'apport d'intrants d'origines allochtones dans le cours d'eau (Whiles & Wallace, 1997).

L'objectif de ce volet est de mieux appréhender composition et volume de litière présente à proximité du cours d'eau. Pour cela, plusieurs informations sont à rapporter sur chaque rive :

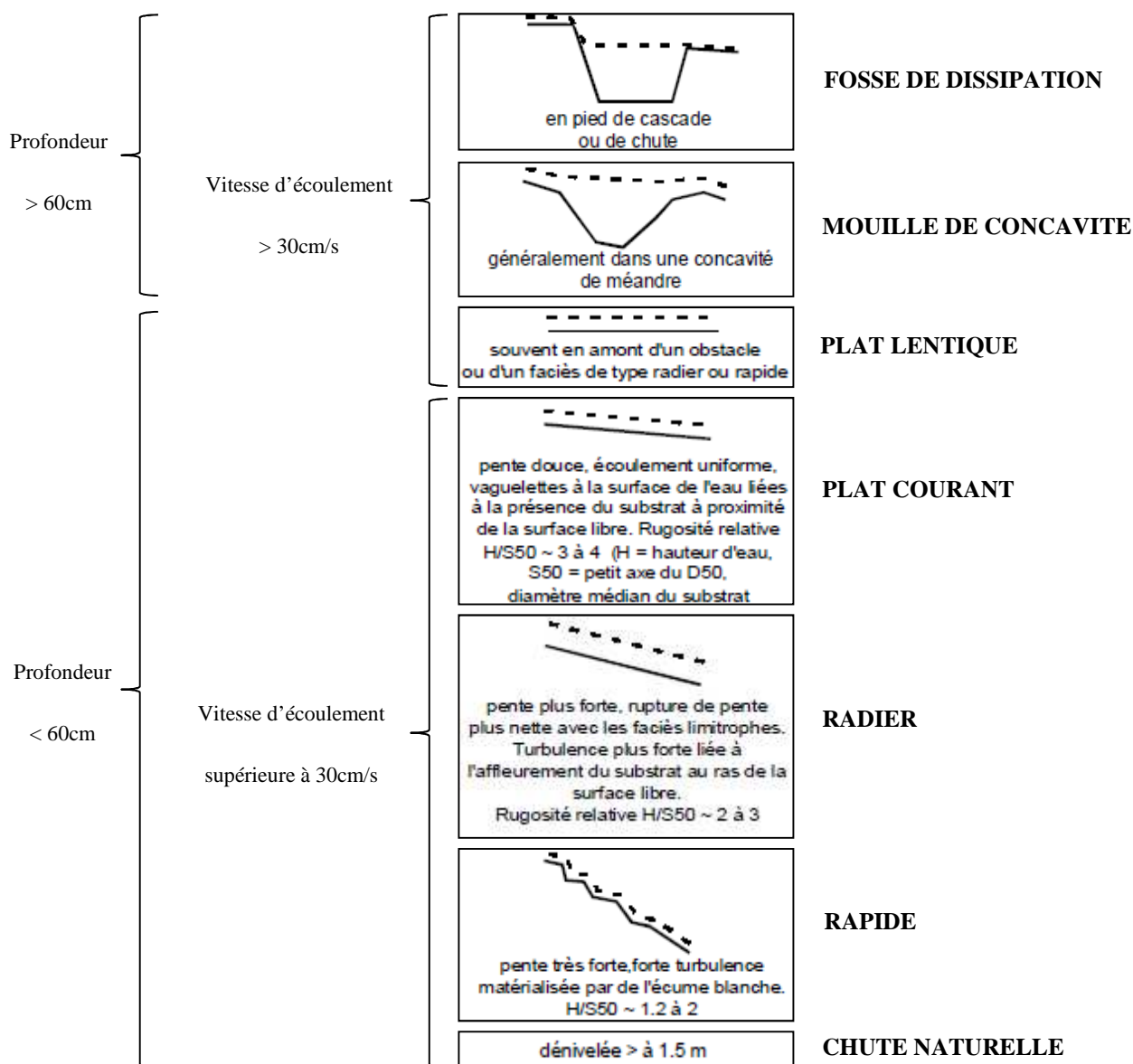
- **La présence ou non d'une litière**
- **Le type de litière :** feuillus, résineux (aiguilles) ou mixte (association de feuilles et d'aiguilles)
- **L'épaisseur moyenne de la litière** (épaisseur selon laquelle on observe une couche de matières organiques plus ou moins décomposée).
- **La longueur cumulée** (longueur totale, au sein de la station, présentant une litière visible sur le sol)
- **Largeur moyenne du cours d'eau** (largeur moyenne qu'occupe la litière au sein de la station. Cette largeur est limitée à 5m.).

Remarque : ces données sont à prendre en considération selon la période d'observation. En effet, le volume de litière disponible sera beaucoup plus important en automne qu'en hiver ou au printemps.

2.4.5 Evaluation des faciès d'écoulement (M)

Les faciès d'écoulement sont des portions de cours d'eau avec une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle générale sur le plan des vitesses, des hauteurs d'eau et des profils en travers (Malavoi & Souchon, 2002). Ils sont le reflet à long terme des contraintes exercées par la géologie, la morphologie terrestre, la couverture végétale et le climat (Beschta & Platts, 1986, d'après Malavoi & Souchon, 2002).

Malavoi et Souchon (2002), propose une clé de détermination des faciès d'écoulement pour les cours d'eau d'une profondeur n'excédant pas les 60cm. Nous avons adaptés cette classification en prenant en compte deux autres faciès supplémentaires, observés lors d'une profondeur de cours d'eau supérieure à 60cm. Cette nouvelle classification se différencie selon 7 faciès différents (Cf. figure 15) :



Source : adapté de Malavoi et Souchon, 2002.

Figure 15 : clé de détermination des faciès d'écoulement de cours d'eau d'une profondeur inférieure à 60cm

Modalités de mesures : Chaque faciès d'écoulement est observé puis identifié sur l'ensemble du tronçon. Leur longueur est également précisée.

Synthèse bibliographique

ALBERT M.B., 1998. Impact de l'entretien de la végétation rivulaire et du bois mort sur les communautés biologiques et la morphologie des cours d'eau. CEMAGREF. Mémoire de DEA. Université Lyon II. 48 pages.

BESCHTA R.L., PLATTS W.S., 1986. Morphological features of small streams: significance and functions. *Water Resources Bulletin*. **22**, 369-379.

BOYER M. 1998. La gestion des boisements de rivières, Guide technique n°1 de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, deux fascicules, 42 et 65 pages.

Klemmedson

CARHYCE, 2008. Protocole de caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau à l'échelle stationnelle (cours d'eau prospectables à pied). ONEMA. 25 pages.

COWAN W.L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients: *Agricultural Engineering*, v. 37, no. 7, p. 473-475. CURRAN J.H. & Wohl E.E., 2003. LWD and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington. *Geomorphology*. 51 (3), 141-157.

DEGOUTTE G., 2006. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées au diagnostic, à l'aménagement et à la gestion des rivières. Editions Lavoisier Tec et Doc. 384 pages.

ENVIRONMENT AGENCY, 2003. River Habitat Survey in Britain and Ireland. Field Survey Guidance Manual : Bristol. 74 pages.

FETHERSON K.L., NAIMAN R.J. & BILBY R.E., 1995. Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river network of the Pacific Northwest. *Geomorphology*. **13**, 133-144.

FRIBERG & JACOBSEN, 1994. Feeding plasticity of two detritivore-shredders. *Freshwater Biology*. 32, 133-142.

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

GURTZ M.E. & J.B. WALLACE, 1984 Substrate-mediated response of stream invertebrates to disturbance. *Ecology*. **65**, 1556-1569.

HAYOT, 2011. Sur quels critères entreprendre la reconstitution de ripisylves diversifiées (en âge et en structure) et fonctionnelles sur le long terme ? Rapport de stage. ONEMA/AERM/Agro Paris Tech. 69 pages.

JANISCH, J.E., S.M. WONDZELL & W.J. EHINGER, 2012. Headwater stream temperature: Interpreting response after logging, with and without riparian buffers, Washington, USA. *Forest Ecology and Management*. **270**, 302-313.

KRAFT C.E. & WARREN D.R., 2003. Development of spatial pattern in LWD and debris dams in streams. *Geomorphology*. **51** (3), 127-139.

MALAVOI J.R. & J.P. BRAVARD, 2010. *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA. 224 pages.

MALAVOI J.R. & SOUCHON Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : Clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. **365-366**. Pages 357-372.

MATHIEU A., 2010. *Cours d'eau en tête de bassin : préconisations pour leur restauration*. ONEMA. 35 pages.

MOULIN B., 2005. Variabilité spatiale et temporelle du bois dans le réseau hydrographique de l'Isère à l'amont de Grenoble. Thèse de Doctorat en géographie. Université Jean Monnet-Saint-Etienne. 450 pages.

PIÉGAY H. & GURNELL A.M., 1997. Large woody debris and river geomorphological pattern : examples from S.E. France and S. England. *Geomorphology*. **19**, 99- 16.

RICHMOND A.D. & FAUSH K.D., 1995. Characteristics and function of LWD in subalpine Rocky Mountains streams in northern Colorado. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **52**, 1789-1802.

SCHNEIDER, 2007. Plaidoyer pour une restauration des cordons rivulaires naturels des ruisseaux et ruisselets forestiers. *Forêt wallone*. **86**, 43-57.

THEVENET A., 1995. Abris et refuges pour les communautés de poissons dans les hydrosystèmes fluviaux. Mémoire de D.E.A. Université Claude Bernard Lyon I, Cemagref, BEA/LHQ. 39 pages.

TIEGS S.D., PETER F.D., ROBINSON C.T., UEHLINGER U., GESSNER M.O., 2008. Leaf decomposition and invertebrate colonization responses to manipulated litter quantity in streams. *J.N. Am. Benthol. Soc.* **27**, 321-331.

WALLACE J.B., EGGERT S.L., MEYER J.L. & WEBSTER J.R., 1999, Effects of resource limitation on a detrital-based ecosystem. *Ecological Monographs*. **69**, 409-442.

WALLERSTEIN N.P., THORNE C.R. & DOYLE M.W, 1997. Spatial distribution and impact of LWD in northern Mississippi, in C.C. Wang, E.J. Langendoen and F.D. Shields editors, *Proceeding of the conference on management of landscapes disturbed by channel incision*, Univ. of Mississippi, Oxford. Pages 145-150.

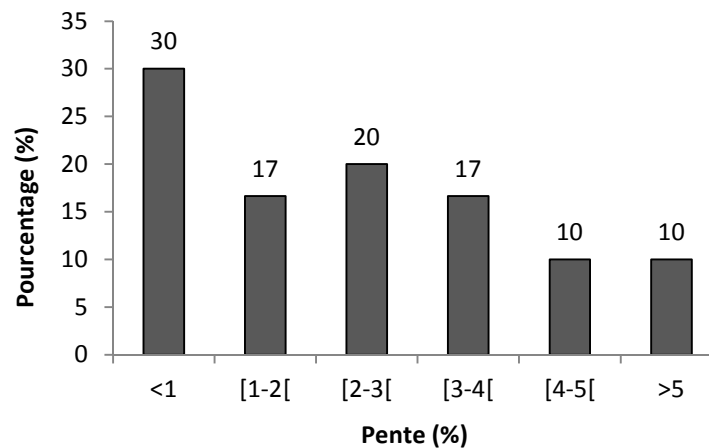
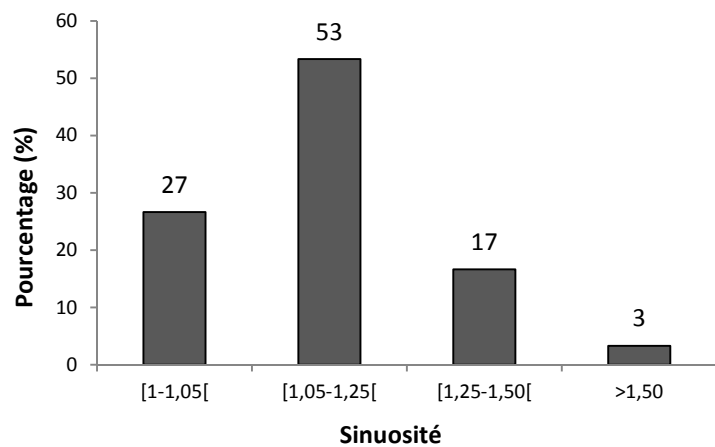
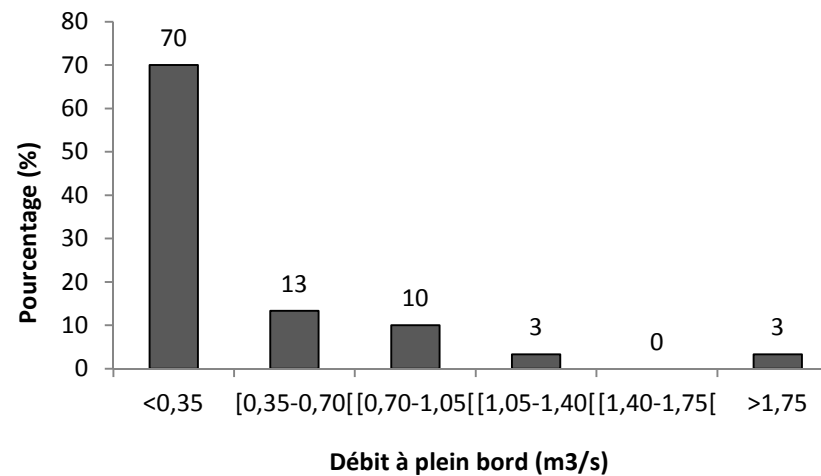
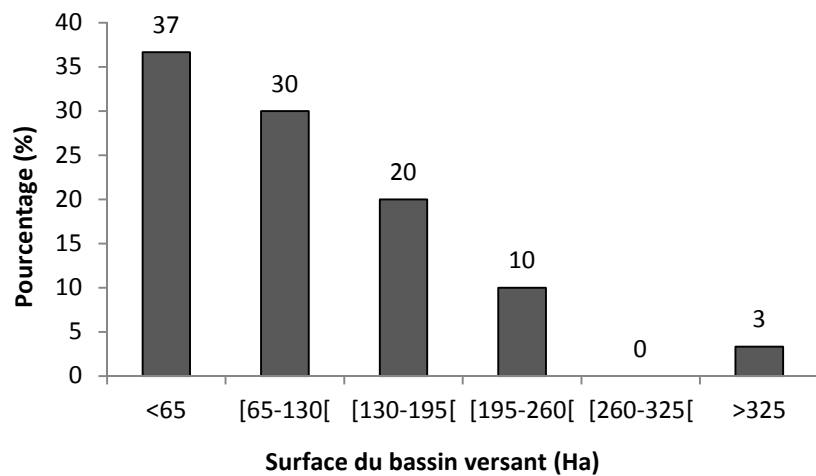
WHILES M. R. & J. B. WALLACE, 1997. Leaf litter decomposition and macroinvertebrate communities in headwater streams draining pine and hardwood catchments. *Hydrobiologia*. **353**, 107-119

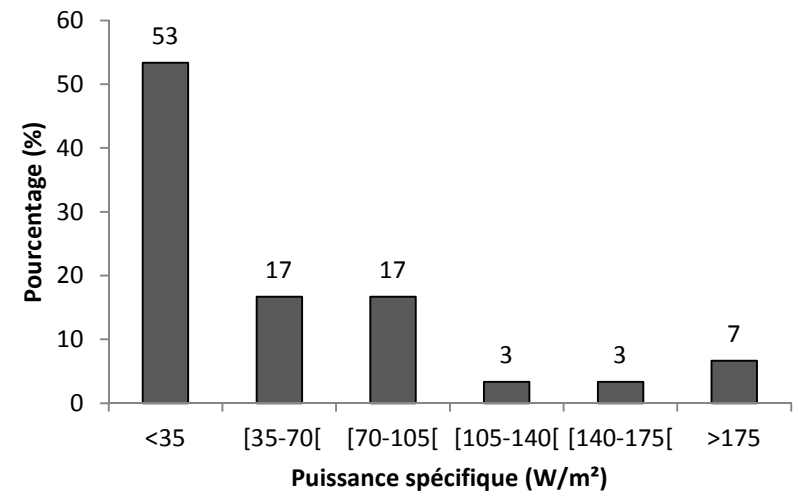
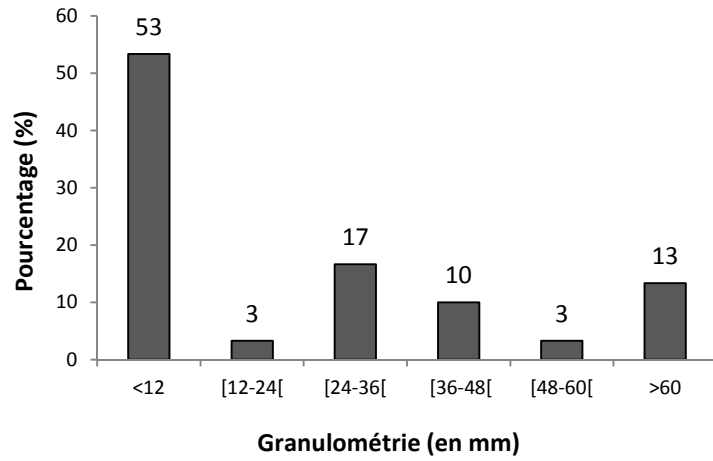
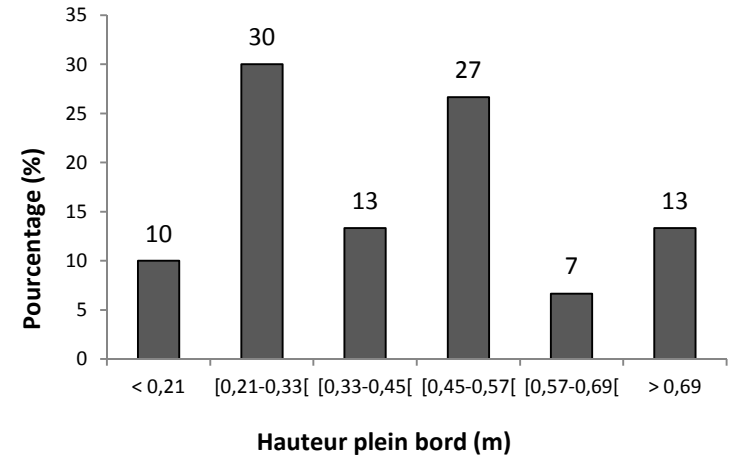
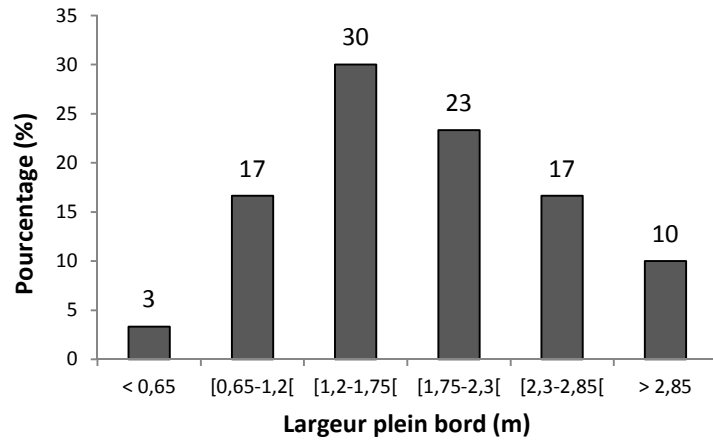
ANNEXE 3 : Tables de valeur du coefficient K

Nature des parois	Valeur de K en $m^{1/3} / s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

Nature du lit	n	$K = \frac{1}{n}$
Lits bétonnés	0.015	70
Lits naturels propres à fond lisse	0.020	50
Lits naturels propres à fond rugueux	0.030	33
Lits naturels avec végétation	0.050 à 0.100	20 à 10

ANNEXE 4 : Représentation graphique des classes de valeurs des variables principales





ANENXE 5 : Données brutes de la comparaison $Q_{pb} / Q_2, Q_5, Q_{10}$

Code_hydro	Nom_station	BV identique	SBV (km ²)	Q2	Q5	Q10	Cod_Stat	Dépt	Sbv (ha)	Sbv (km ²)	Qpb	Q2 théorique/Sbv	Q5 théorique/Sbv	Q10 théorique/Sbv	Q2 théorique/km ²	Qpb théorique/km ²
J0014010	Le Nancon a Lecousse [Pont aux Anes]	oui	67	3,2	4,4	5,3	2	35	34,448	0,344	0,626	0,016452776	0,022622567	0,02724991	0,047761194	1,81723177
J0121510	Le Couesnon a Romazy	oui	510	29	40	47	3	35	19,812	0,198	0,162	0,011265647	0,015538824	0,018258118	0,056862745	0,817686251
J0121510	Le Couesnon a Romazy	oui	510	29	40	47	5	35	71,495	0,715	0,139	0,04065402	0,05607451	0,065887549	0,056862745	0,19441919
J0121510	Le Couesnon a Romazy	oui	510	29	40	47	6	35	16,300	0,163	0,038	0,009268514	0,012784157	0,015021384	0,056862745	0,233131695
J3404110	Le ruisseau de Mougau Bihan à Commana [Moulin Neuf]	non	8,7	1,3	1,7	2	16	29	182,397	1,824	0,823	0,272546494	0,356406954	0,419302299	0,149425287	0,451214799
J3404110	Le ruisseau de Mougau Bihan à Commana [Moulin Neuf]	non	8,7	1,3	1,7	2	17	29	82,466	0,825	0,313	0,123225057	0,16114046	0,189577011	0,149425287	0,37955036
J3624010	L'Ellez a Brennilis	oui	33	7,5	11	13	27	29	130,429	1,304	0,678	0,296429545	0,434763333	0,513811212	0,227272727	0,519823045
J3624010	L'Ellez a Brennilis	oui	33	7,5	11	13	30	29	99,553	0,996	0,702	0,226256818	0,331843333	0,392178485	0,227272727	0,70515203
J3404110	Le ruisseau de Mougau Bihan à Commana [Moulin Neuf]	non	8,7	1,3	1,7	2	32	29	395,622	3,956	0,952	0,591159908	0,773055264	0,909476782	0,149425287	0,240633493
M0624010	Le Treulon a Auvers-le-Hamon [la Havardiere]	oui	143	17	26	31	35	53	167,039	1,670	0,269	0,19857807	0,303707636	0,362112951	0,118881119	0,161040043
M0624010	Le Treulon a Auvers-le-Hamon [la Havardiere]	oui	143	17	26	31	37	53	117,107	1,171	0,547	0,139218469	0,212922364	0,253868972	0,118881119	0,467092999
J8433010	La Claie a Saint-Jean-Brevelay	oui	137	11	16	20	38	56	87,092	0,871	0,109	0,069927964	0,101713401	0,127141752	0,080291971	0,125154865
J2213110	Le Guic a Guerlesquin [Kerret]	non	7,3	1,1	1,5	1,8	41	22	35,860	0,359	0,029	0,054035918	0,073685342	0,088422411	0,150684932	0,080869599
J2213110	Le Guic a Guerlesquin [Kerret]	non	7,3	1,1	1,5	1,8	54	22	165,146	1,651	0,072	0,248850589	0,339341712	0,407210055	0,150684932	0,043597707
J5205210	Le Lestolet à Kerien	non	14,2	1,2	1,5	1,7	65	22	23,849	0,238	0,036	0,020154	0,0251925	0,0285515	0,084507042	0,150950358
J5205210	Le Lestolet à Kerien	non	14,2	1,2	1,5	1,7	69	22	13,617	0,136	0,199	0,011506986	0,014383732	0,016301563	0,084507042	1,461451464
J5205210	Le Lestolet à Kerien	non	14,2	1,2	1,5	1,7	70	22	10,064	0,101	0,121	0,008504789	0,010630986	0,012048451	0,084507042	1,202305246
J2213110	Le Guic a Guerlesquin [Kerret]	non	7,3	1,1	1,5	1,8	74	22	34,006	0,340	0,032	0,051241918	0,069875342	0,083850411	0,150684932	0,094101041
J5704810	Le Coet-Organ a Quistinic [Kerdec]	non	47,7	4,7	6,8	8,3	82	56	70,789	0,708	0,233	0,069750168	0,100915136	0,123175828	0,098532495	0,329147184
M6204010	Le Donneau a Mesanger [Pont-Esnault]	oui	79	13	21	26	92	44	87,111	0,871	1,398	0,143347873	0,231561949	0,286695747	0,164556962	1,604841617
M6204010	Le Donneau a Mesanger [Pont-Esnault]	non	79	13	21	26	95	44	193,585	1,936	2,224	0,318557924	0,51459357	0,637115848	0,164556962	1,148848156
J7633010	Le Semnon a Bain-de-Bretagne	oui	383	35	55	68	102	44	205,589	2,056	0,306	0,187874791	0,295231815	0,36501388	0,091383812	0,148840865
J8813010	L'Arz a Molac	oui	148	15	22	27	103	56	220,800	2,208	0,122	0,223783277	0,328215473	0,402809899	0,101351351	0,055253748
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	107	22	35,950	0,359	0,117	0,033157398	0,047118408	0,055844039	0,09223301	0,325455638
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	111	22	83,472	0,835	0,218	0,076989015	0,109405442	0,129665709	0,09223301	0,261164482
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	113	22	177,429	1,774	0,229	0,163648476	0,23253097	0,275618485	0,09223301	0,12906542
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	118	22	27,715	0,277	0,036	0,025562748	0,03632601	0,043053049	0,09223301	0,129891685
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	119	22	48,327	0,483	0,213	0,044573816	0,063341738	0,075071689	0,09223301	0,44074376
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	142	56	110,251	1,103	0,24	0,101687723	0,144503607	0,171263534	0,09223301	0,217685298
J5202110	Le Blavet a Kerien [Kerlouet]	oui	20,6	1,9	2,7	3,2	143	56	195,912	1,959	0,374	0,18069535	0,256777602	0,30432901	0,09223301	0,190902233
M0156510	La Saosnette a Thoire-sous-Contensor	non	36	0,64	0,99	1,2	128	72	85,438	0,854	0,195	0,015189031	0,023495533	0,028479433	0,017777778	0,228625023
M1313010	La Veuve a Saint-Pierre-du-Lorouer [Petit Brives]	non	156	8,5	14	18	129	72	265,971	2,660	0,339	0,144919933	0,238691654	0,306889269	0,054487179	0,127457649
M1213010	La Braye a Valennes [la Caboche]	oui	270	18	26	31	132	72	82,523	0,825	3,157	0,055015333	0,079466593	0,09474863	0,066666667	3,825600136

1 – Introduction

Le protocole de recueil de données utilisé durant l'étude prévoyait notamment:

- De définir une station d'une longueur de 30 mètres ;
- De positionner 6 transects à équidistance sur l'ensemble de la station (soit un transect tous les 6 mètres) ;
- De réaliser sur chaque transect : une mesure de la largeur de plein bord(Lpb) (point de débordement de la berge) et sur 5 points (placer à $1/6^{\text{ème}}$ de la largeur de plein bord) de réaliser une mesure de la hauteur par rapport au plein bord, notées respectivement Ht 1, Ht2,..., Ht5. (cf. figure 1).

En nous inspirant des travaux développés par O. Navratil (2005) et Trainor et Church (2003), nous cherchons à déterminer :

- Si cette longueur de 30 mètres permet une stabilité des mesures et donc une bonne approximation des variables définissant la géométrie du lit, le cas échéant nous chercherons à déterminer quelle est la longueur de cours d'eau minimale à prendre en compte ;
- Si le nombre de transect préconisé (6 sur l'ensemble de la station) est suffisant ou à l'inverse s'il doit être augmenté, si la distance préconisée entre les transects (6 mètres) est adéquate.

2 – Méthodologie

Sur 16 stations prospectées lors de l'étude, nous avons en plus des 6 transects préconisés initialement, nous avons réalisés 10 transects supplémentaires. Au total, une série de mesure ont été réalisées tous les 2 mètres (avec un transect au démarrage de la station, point 0 et un au final à 30 mètres).

Nous étudierons 3 variables hydrauliques issues de nos mesures : la largeur de plein bord (Lpb), la hauteur moyenne (Hmoy) et la hauteur maximal (Htmax).

« Trainor et Church (2003) ont montrés que lorsque la longueur de la station augmente, la variance diminue ou se stabilise, indiquant que toute la variabilité est alors prise en compte » (in O. Navratil, 2005).

Pour chacune de ces variables nous étudierons l'évolution de grandeurs statistiques : moyenne, écart type et nous chercherons à déterminer l'échelle spatiale permettant la prise en compte du maximum de la variabilité.

L'évolution de ces variables statistiques sera étudiée grâce à un taux d'augmentation pour une augmentation de la longueur de la station (L) ou du nombre de transect.

$$V(D) = \left(1 - \frac{V(D+L)}{V(D)}\right),$$

Avec $V(D)$: taux d'évolution de la variable, $V(D)$: valeur prise par la variable à la distance D ou au numéro de transect N, $V(D+L)$: valeur prise par la variable à la distance D+L au au transect suivant.

Lorsque ce taux n'évolue plus ou peu, on considère que l'ensemble de la variabilité existante sur la station a été prise en compte. On considérera que ce taux évolue peu ou pas quand la valeur de ce taux sera inférieure ou égale à 5% (Navratil, 2005), puis à 10%.

3 - Détermination d'une longueur minimale de station

Les largeurs de pleins bords estimés sur notre lot de stations sont variables : de 0,7 à 3,6 mètres.

Or la bibliographie nous indique que la largeur de plein bord est une variable caractérisant la morphologie d'un cours d'eau, puisque par exemple, il est admis que la séquence « radier-mouille » dans un cours d'eau se répète environ tous les 6 x Lpb.

Aussi, pour chaque station, les longueurs sont exprimées en mètres et en fonction du nombre de largeur de plein bord correspondant.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus :

- Pour chaque variable et pour chaque station, on note le nombre de largeur de plein bord et la distance en mètre à partir desquelles, la variation de la moyenne ou de l'écart type est inférieure ou égale à 5% ;
- Pour chaque station, on note la distance la plus pénalisante parmi les 3 variables retenues.

Tableau 7 : Distance exprimée en mètre ou en largeur de plein bord permettant une stabilisation de la moyenne et de l'écart-type des variables Hmax, Mt moy et Lpb (variation inférieur ou égale à 5%)

Num sta	Lpb	Variable - Ht Max				Variable - H moy				Variable Lpb			
		Nb de Lpb - Stabilisation de la Moyenne	Nb de Lpb - Stabilisation de l'Ecart-type	Distance en mètres - Stabilisation de la moyenne	Distance en mètres - Stabilisation de l'écart type	Nb de Lpb - Stabilisation de la Moyenne	Nb de Lpb - Stabilisation de l'Ecart-type	Distance en mètres - Stabilisation de la moyenne	Distance en mètres - Stabilisation de l'écart type	Nb de Lpb - Stabilisation de la Moyenne	Nb de Lpb - Stabilisation de l'Ecart-type	Distance en mètres - Stabilisation de la moyenne	Distance en mètres - Stabilisation de l'écart type
3	1,59	14	16	24	24	11	16	16	24	16	7	24	10
6	0,97	23	25	24	24	25	25	24	24	13	11	12	10
16	2,35	4	9	10	20	5	11	10	24	1	>12	2	>30
17	1,26	10	18	12	22	10	12	12	14	10	23	12	28
27	1,6	5	13	8	16	7	11	10	16	4	>19	6	>30
30	2,12	5	12	10	24	2	8	4	16	15	15	30	30
32	3,58	8	>8	30	>30m	6	9	18	30	2	7	4	22
65	1,54	12	20	18	30	13	17	20	26	4	20	6	30
92	2,58	3	7	2	18	1	5	2	12	4	9	8	22
95	3,36	2	8	6	24	2	6	6	18	1	6	2	20
102	3,12	3	9	10	26	4	>10	10	>30	5	6	14	18
107	1,19	1	17	2	28	6	14	6	16	6	19	6	22
111	1,62	3	18	4	28	2	12	2	18	3	14	4	22
113	1,51	6	7	10	10	7	>20	10	>30	2	16	2	24
118	0,71	22	23	16	16	9	26	6	18	23	26	16	18
119	1,02	6	18	6	18	6	10	6	10	24	>30	24	>30

Tableau 8 : Distance exprimée en mètre ou en largeur de plein bord permettant une stabilisation de la moyenne et de l'écart-type des variables Hmax, Mt moy et Lpb (variation inférieur ou égale à 10%)

Num sta	Lpb	Variable - Ht Max				Variable Ht moy				Variable Lpb			
		Nb de Lpb - Stabilisation de la Moyenne	Nb de Lpb - Stabilisation de l'Ecart-type	Distance en mètres - Stabilisation de la moyenne	Distance en mètres - Stabilisation de l'écart type	Nb de Lpb - Stabilisation de la Moyenne	Nb de Lpb - Stabilisation de l'Ecart-type	Distance en mètres - Stabilisation de la moyenne	Distance en mètres - Stabilisation de l'écart type	Nb de Lpb - Stabilisation de la Moyenne	Nb de Lpb - Stabilisation de l'Ecart-type	Distance en mètres - Stabilisation de la moyenne	Distance en mètres - Stabilisation de l'écart type
3	1,59	11	16	16	24	11	11	16	16	6	7	8	10
6	0,97	5	25	4	24	7	25	6	24	7	11	6	10
16	2,35	1	9	2	20	5	4	10	8	1	12	2	28
17	1,26	2	18	2	22	1	10	2	12	4	23	4	28
27	1,6	1	7	2	10	6	6	8	8	4	7	6	10
30	2,12	2	12	4	24	2	2	4	4	2	15	4	30
32	3,58	9	>9	30	>30	2	9	4	30	1	6	2	20
65	1,54	4	17	6	26	4	12	6	18	3	15	4	22
92	2,58	1	7	2	18	1	4	2	8	1	7	2	18
95	3,36	1	8	2	24	1	6	2	18	1	4	2	12
102	3,12	1	9	2	26	1	4	2	12	1	5	2	14
107	1,19	1	17	2	20	1	7	2	8	1	19	2	22
111	1,62	1	13	2	20	1	3	2	4	1	14	2	22
113	1,51	1	13	2	20	1	7	2	10	1	15	2	22
118	0,71	1	7	2	10	9	12	6	8	17	17	12	12
119	1,02	1	10	2	10	6	8	6	8	10	24	10	24

Les résultats présentés sur le tableau 1, stabilisation de la moyenne et de l'écart type à +/- 5 % montrent que :

Pour la valeur moyenne des variables retenues :

- la longueur de station choisie (30 mètres) permet toujours une stabilisation de la moyenne ;
- le nombre de largeur de plein bord sur une station permettant une stabilisation de cette valeur varie fortement, de 1 à 25 ;
- pour 11 stations sur 16, une longueur correspondant à 10 largeurs de plein bord permettent une stabilisation de la moyenne de nos 3 variables;
- pour 14 stations sur 16, une distance de 24 mètres permet une stabilisation des moyennes de nos 3 variables

Pour les variations de l'écart type :

- pour 13 stations sur 16, l'écart type se stabilise pour une longueur de station correspondant à 20 fois la largeur de plein bord.
- Pour 13 stations sur 16, une distance de 30 mètre permet une stabilisation de nos écart-types, pour nos trois variables

Les résultats du tableau 2 : stabilisation de la moyenne et de l'écart type à +/- 10 %

Pour les variations de la moyenne :

- Pour 11 stations sur 16 : une distance de 10 largeurs de plein bords permet une stabilisation de la moyenne ; 15 sur 16 avec 15 fois la largeur de plein bord ;
- Pour 15 stations sur 16, une distance de 16 mètres permet une stabilisation de la moyenne, pour 14 stations sur 16, cette distance est ramenée à 8 mètres..

Pour les variations de l'écart-type :

- pour 11 stations sur 16 : une distance correspondant à 15 largeurs de plein bord permet une stabilisation des valeurs ; avec 20 largeur de plein bord, ce résultat est obtenu pour 14 stations sur 16 ;
- une distance de 28 mètres permet une stabilisation de l'écart type pour 15 stations sur 16.

le choix d'une longueur de 30 mètres pour nos stations est validé pour une mesure de la valeur moyenne de nos variables avec une précision de 5%. Cette distance permet une estimation de l'écart type avec une précision de 10%.

4 – Détermination du nombre minimal de transect

Les résultats du paragraphe précédent ont montré que la longueur préconisée : 30 mètres, permettait une stabilisation de la valeur moyenne de nos 3 variables.

Nous chercherons à déterminer dans ce paragraphe, le nombre de transects à réaliser pour obtenir une stabilisation de notre moyenne et de notre écart-type.

Nous étudierons l'évolution du « taux d'augmentation » comme précisé au paragraphe 2 en faisant évoluer le nombre de transect et donc la distance entre ces derniers.

Les valeurs moyennes et les écart-types de nos trois variables sont mesurées avec :

- 2 transects : positionnés à 0 et 30 mètres ;
- 3 transects : à 0, 15 et 30 mètres ;
- 4 transects : à 0, 10, 20 et 30 mètres ;
- 5 transects : à 0, 6, 12, 18, 24 et 30 mètres ;
- 6 transects : à 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 mètres ;
- 10 transects à 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 mètres ;
- 15 transects : à 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 mètres
- 30 transects : tous les mètres

Les variations des valeurs de la moyenne et de l'écart type sont étudiées pour nos trois variables en faisant évoluer le nombre de transect.

Comme pour la distance de la station, on détermine le nombre de transect permettant une stabilisation des valeurs à +/- 5% puis à +/- 10%.

Pour un taux de variation se stabilisant à +/- 5 % :

- Pour 11 stations sur 16, 10 transects permettent une stabilisation de la moyenne pour nos 3 variables ;
- Pour 15 stations et 2 variables la stabilisation de la moyenne est obtenue après 15 transects
- A l'inverse, 30 transects ne permettent pas une stabilisation de l'écart-type.

Pour un taux de variation se stabilisant à +/- 10 %

- 6 transects permettent une stabilisation de la moyenne pour 15 stations sur 16 ;

Précision 5%	Evol Moyenne			Evol Ecartype		
	Htmax	Ht Moy	Lpb	Htmax	Ht Moy	Lpb
	3	30	10	30	>30	>30
6	30	10	10	>30	>30	>30
16	10	3	10	>30	>30	>30
17	10	10	6	>30	>30	>30
27	10	6	6	15	>30	>30
30	30	5	15	>30	>30	>30
32	6	6	5	>30	>30	>30
65	4	15	10	>30	>30	>30
92	3	6	10	>30	>30	>30
95	5	4	6	>30	>30	>30
102	15	5	4	>30	>30	>30
107	4	3	6	>30	>30	>30
111	3	3	5	30	>30	>30
113	6	6	6	>30	>30	>30
118	30	10	15	>30	>30	>30
119	5	5	15	>30	>30	>30

Précision 10%	Evol Moyenne			Evol Ecartype		
	Htmax	Ht Moy	Lpb	Htmax	Ht Moy	Lpb
	3	6	6	30	>30	>30
6	2	2	4	15	30	>30
16	2	2	2	>30	15	>30
17	2	2	6	>30	15	>30
27	6	2	2	10	>30	>30
30	5	4	5	>30	30	30
32	5	5	2	30	30	10
65	2	6	6	10	2	>30
92	2	2	2	>30	6	4
95	2	2	2	30	30	10
102	2	2	4	>30	6	15
107	2	2	5	>30	>30	>30
111	2	2	2	15	10	15
113	2	2	5	30	6	15
118	10	10	6	>30	>30	>30
119	2	5	2	30	>30	>30

Pour chaque station, 16 moyennes de H_{pb} et L_{pb} sont calculés selon le principe suivant : la première moyenne de H_{pb} et L_{pb} prend en compte leur unique valeur, à la distance 0m. Puis, tous les 2m jusqu'à 30m, on recalcule pour chaque transect une moyenne en ajoutant les valeurs de H_{pb} et L_{pb} présentent du transect 0m jusqu'au transect où l'on doit calculer cette moyenne (Exemple : pour la moyenne de L_{pb} au transect « 4m » trois valeurs de L_{pb} sont prises en compte: Celle du transect à 0m, 2m et 4m). Suite à ces calculs, on note le nombre de largeurs à plein bord et la distance en mètres à partir desquelles la variation de la moyenne ou de l'écart type des variables L_{pb} et H_{pb} est inférieure ou égale à 5% et 10%.

ANNEXE 7 : Données brutes

Code Station	Département	Date de propsection	Dist. Eu. (m)	Sinuosité	Pente station (m)			Estimation pente (%)		Profil tronçon	Coefficient de rugosité						
					Fond du lit	Ligne d'eau	Ligne d'eau m.m	Fond du lit	Ligne d'eau		m	nb	n1	n2	n3	n4	K (1/n)
2	35	15/04/2012	29,1	1,03	1,28	1,4	0,046666667	4,27	4,67	B8	1	0,032	0,003	0,003	0,025	0,006	14,493
3	35	14/06/2013	27,9	1,08	1,275	1,275	0,0425	4,25	4,25	B5	1	0,029	0,008	0,003	0,025	0,006	14,085
5	35	15/04/2013	29,1	1,03	NO DATA	0,7	0,023333333	#VALEUR!	2,33	B1	1	0,029	0,008	0,000	0,010	0,038	11,765
6	35	14/06/2013	26,5	1,13	1,083	1,063	0,035433333	3,61	3,54	B1	1	0,029	0,008	0,003	0,025	0,038	9,709
16	29	06/06/2013	23,7	1,27	0,525	0,595	0,019833333	1,75	1,98	B8	1,15	0,029	0,016	0,003	0,010	0,038	9,058
17	29	06/06/2013	29,5	1,02	1,248	1,178	0,039266667	4,16	3,93	B1	1	0,050	0,008	0,003	0,010	0,006	12,987
27	29	07/06/2013	28,8	1,04	0,608	0,523	0,017433333	2,03	1,74	B1	1	0,050	0,008	0,003	0,010	0,006	12,987
30	29	07/06/2013	24,5	1,22	0,85	0,69	0,023	2,83	2,30	B1	1,15	0,029	0,008	0,003	0,025	0,006	12,247
32	29	07/06/2013	19,6	1,53	0,469	0,489	0,0163	1,56	1,63	B6	1,3	0,050	0,016	0,003	0,025	0,006	7,692
35	53	16/04/2013	26,6	1,13	0,76	0,79	0,026333333	2,53	2,63	B1	1	0,040	0,008	0,003	0,010	0,006	14,925
37	53	16/04/2013	29,3	1,02	0,81	0,99	0,033	2,70	3,30	B8	1	0,029	0,008	0,003	0,010	0,006	17,857
38	56	19/04/2013	27,39	1,10	0,472	0,474	0,0158	1,57	1,58	B7	1	0,029	0,016	0,003	0,010	0,075	7,519
41	22	24/04/2013	24,29	1,24	0,3	0,305	0,010166667	1,00	1,02	B8	1	0,029	0,016	0,013	0,045	0,038	7,092
54	22	24/04/2013	25,2	1,19	0,15	0,289	0,009633333	0,50	0,96	B7	1	0,029	0,016	0,000	0,002	0,038	11,765
65	22	14/05/2013	23	1,30	0,023	0,037	0,001233333	0,08	0,12	B7	1,15	0,029	0,008	0,003	0,010	0,038	9,881
69	22	25/04/2013	27,5	1,09	1,93	1,919	0,063966667	6,43	6,40	B8	1	0,029	0,016	0,003	0,025	0,006	12,658
70	22	25/04/2013	29,4	1,02	2,542	2,551	0,085033333	8,47	8,50	B2	1	0,029	0,008	0,003	0,025	0,038	9,709
74	22	24/04/2013	23	1,30	0,515	0,615	0,0205	1,72	2,05	B7	1,15	0,029	0,008	0,000	0,010	0,075	7,128
82	56	30/04/2013	23,8	1,26	0,22	0,16	0,005333333	0,73	0,53	B6	1,15	0,029	0,003	0,003	0,010	0,006	17,050
92	44	17/05/2013	24,5	1,22	0,994	0,999	0,0333	3,31	3,33	B1	1,15	0,029	0,008	0,003	0,010	0,006	15,528
95	44	17/05/2013	29,5	1,02	1,136	1,196	0,039866667	3,79	3,99	B6	1	0,040	0,016	0,003	0,025	0,006	11,111
102	44	31/05/2013	28,2	1,06	0,07	0,08	0,002666667	0,23	0,27	B1	1	0,029	0,016	0,003	0,010	0,000	17,241
103	56	19/04/2013	29	1,03	0,827	0,777	0,0259	2,76	2,59	B7	1	0,029	0,016	0,000	0,010	0,075	7,692
107	22	13/05/2013	26,7	1,12	0,298	0,283	0,009433333	0,99	0,94	B7	1	0,029	0,008	0,003	0,010	0,006	17,857
111	22	13/05/2013	24	1,25	0,14	0,23	0,007666667	0,47	0,77	B7	1,15	0,029	0,003	0,003	0,002	0,038	11,594
113	22	13/05/2013	24,6	1,22	0,104	0,084	0,0028	0,35	0,28	B6	1,15	0,029	0,003	0,003	0,002	0,006	20,222
118	22	14/05/2013	26,5	1,13	0,082	0,222	0,0074	0,27	0,74	B1	1	0,029	0,008	0,003	0,010	0,038	11,364
119	22	14/05/2013	27,6	1,09	0,237	0,291	0,0097	0,79	0,97	B7	1	0,029	0,008	0,003	0,010	0,038	11,364
142	56	30/04/2013	28,4	1,06	1,59	1,63	0,054333333	5,30	5,43	B8	1	0,040	0,008	0,003	0,025	0,006	12,195
143	56	30/04/2013	27,4	1,09	0,76	0,83	0,027666667	2,53	2,77	B8	1	0,032	0,008	0,003	0,010	0,006	16,949
128	72	02/05/2013	27,3	1,10	0,82	0,85	0,028333333	2,73	2,83	B2	1	0,040	0,016	0,003	0,025	0,006	11,111
129	72	03/05/2013	29,3	1,02	0,325	0,35	0,011666667	1,08	1,17	B6	1	0,029	0,008	0,003	0,025	0,075	7,143
132	72	03/05/2013	27,4	1,09	0,92	0,935	0,031166667	3,07	3,12	B1	1	0,029	0,016	0,003	0,025	0,006	12,658

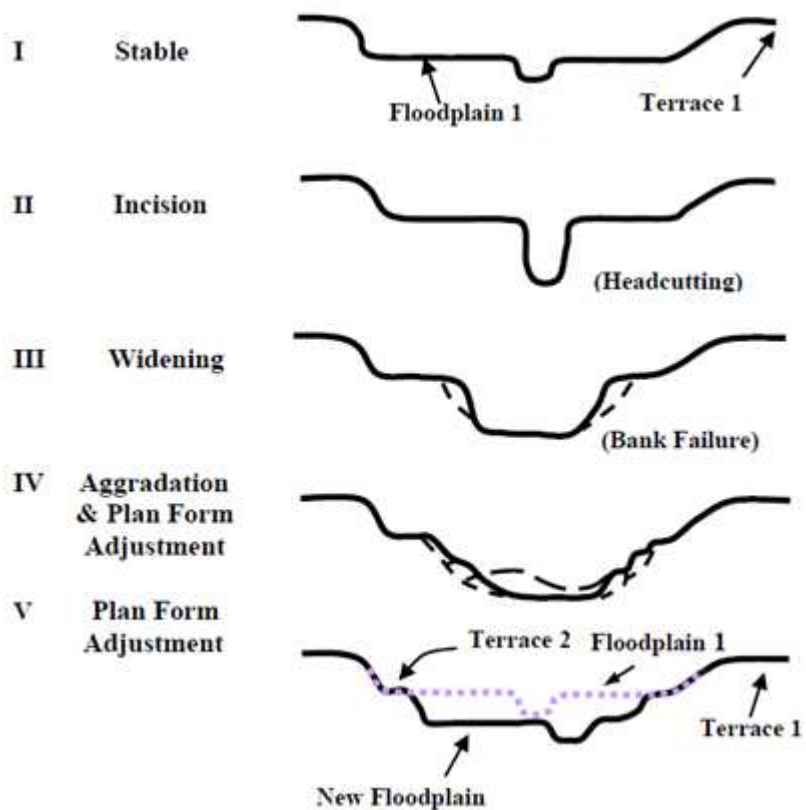
Code Station	Débit (m3/s)																		
	Transect 1		Transect 2		Transect 3		Transect 4		Transect 5		Transect 6		Débit Plein bord (m3/s)			Débit mouillé (m3/s)			
	Débit pb	Débit m.	Débit pb.	débit m.	Débit pb	Débit m.	Débit pb	Débit m.	Débit pb	Débit m.	Débit pb	Débit m.	Qpb min	Qpb max	Qpb moy (3)	Qpb moy 6	Qm min	Qm max	Qm moy
2	0,887	0,0109	0,452	0,0135	0,261	0,0127	0,852	0,0561	0,497	0,0187	0,805	0,0672	0,261	0,887	0,403	0,626	0,011	0,067	0,030
3	0,52	0,0053	0,11	0,0044	0,113	0,0041	0,043	0,0028	0,068	0,0038	0,12	0,0029	0,043	0,52	0,074	0,162	0,003	0,005	0,004
5	0,056	0,0148	0,081	0,0133	0,1	0,0279	0,208	0,0267	0,267	0,0538	0,119	0,088	0,056	0,267	0,079	0,139	0,013	0,088	0,037
6	0,037	0,0012	0,018	0,0016	0,081	0,0015	0,027	0,0009	0,024	0,0021	0,041	0,0007	0,018	0,081	0,023	0,038	0,001	0,002	0,001
16	0,986	0,1577	0,785	0,1857	1,895	0,0606	1,165	0,0847	0,532	0,0481	1,167	0,0906	0,532	1,895	0,768	0,823	0,048	0,186	0,105
17	0,327	0,0384	0,221	0,0323	0,447	0,0512	0,225	0,0232	0,271	0,125	0,386	0,0174	0,221	0,447	0,239	0,313	0,017	0,125	0,048
27	0,554	0,302	1,262	0,2868	0,372	0,0621	0,754	0,029	0,729	0,1026	0,396	0,0781	0,372	1,262	0,441	0,678	0,029	0,302	0,143
30	0,772	0,0274	1,098	0,0166	1,125	0,023	1,093	0,0095	0,569	0,1059	0,912	0,1511	0,569	1,125	0,751	0,702	0,010	0,151	0,056
32	1,562	0,1597	1,266	0,1522	1,558	0,124	NO DATA	0,4428	NO DATA	0,1271	2,05	0,2782	1,266	2,05	1,462	0,952	0,124	0,443	0,214
35	0,503	0,0219	0,14	0,0204	0,189	0,054	0,357	0,0144	0,167	0,0219	0,258	0,0303	0,14	0,503	0,165	0,269	0,014	0,054	0,027
37	0,462	0,045	0,543	0,0734	0,487	0,0152	0,858	0,0422	0,321	0,1054	0,611	0,0888	0,321	0,858	0,423	0,547	0,015	0,105	0,062
38	0,075	NO DATA	0,049	NO DATA	0,133	NO DATA	0,147	0,0073	0,109	0,0091	0,141	NO DATA	0,049	0,147	0,078	0,109	0,007	0,009	0,008
41	0,018	0,0051	0,023	0,0032	0,044	0,0155	0,022	0,0024	0,026	0,0036	0,041	0,0108	0,018	0,044	0,021	0,029	0,002	0,016	0,007
54	0,066	0,0419	0,183	0,0305	0,098	0,0244	0,027	0,0051	0,032	0,0126	0,025	0,0121	0,025	0,183	0,028	0,072	0,005	0,042	0,021
65	0,022	0,01	0,033	0,0093	0,025	0,0108	0,063	0,0107	0,087	0,0163	0,06	0,0046	0,022	0,087	0,027	0,036	0,005	0,016	0,010
69	0,401	0,0048	0,22	0,0057	0,147	0,0104	0,21	0,0155	0,1	0,0057	0,114	0,0067	0,1	0,401	0,120	0,199	0,005	0,016	0,008
70	0,072	0,0026	0,141	0,0049	0,217	0,004	0,126	0,0029	0,1	0,0029	0,068	0,0027	0,068	0,217	0,080	0,121	0,003	0,005	0,003
74	0,033	0,0062	0,021	0,0045	0,052	0,006	0,104	0,0266	0,041	0,0182	0,005	0,0103	0,005	0,104	0,020	0,032	0,005	0,027	0,012
82	0,29	0,0676	0,264	0,0984	0,147	0,06	0,227	0,318	0,547	0,1085	0,378	0,0563	0,147	0,547	0,213	0,233	0,056	0,318	0,118
92	1,383	0,0265	1,128	0,0481	1,53	0,0244	2,004	0,0427	2,087	0,006	2,962	0,0155	1,128	2,962	1,347	1,398	0,006	0,048	0,027
95	2,535	0,0371	2,891	0,0333	1,944	0,0608	2,343	0,0502	1,189	0,0684	2,444	0,0525	1,189	2,891	1,825	2,224	0,033	0,068	0,050
102	0,261	NO DATA	0,291	NO DATA	0,328	0,181	0,256	0,0343	0,4	0,0156	0,298	0,01	0,256	0,4	0,269	0,306	0,010	0,181	0,060
103	0,046	0,0899	0,124	0,1333	0,166	0,061	0,105	0,0599	0,194	0,1373	0,097	0,0567	0,046	0,194	0,083	0,122	0,057	0,137	0,090
107	0,123	0,0068	0,108	0,007	0,162	0,0116	0,102	0,0029	0,098	0,005	0,111	0,0273	0,098	0,162	0,103	0,117	0,003	0,027	0,010
111	0,398	0,0151	0,523	0,0196	0,28	0,0155	0,144	0,0136	0,18	0,019	0,204	0,0345	0,144	0,523	0,115	0,218	0,014	0,035	0,020
113	0,409	0,0271	0,317	0,0384	0,308	0,0604	0,248	0,0234	0,248	0,0318	0,283	0,0105	0,248	0,409	0,260	0,229	0,011	0,060	0,032
118	0,045	0,0068	0,033	0,0082	0,043	0,0117	0,023	0,0006	0,038	0,0073	0,034	0,0084	0,023	0,045	0,030	0,036	0,001	0,012	0,007
119	0,029	0,0062	0,057	0,0045	0,109	0,016	0,57	0,0305	0,157	0,0066	0,356	0,0055	0,029	0,57	0,065	0,213	0,005	0,031	0,012
142	0,442	0,0418	0,119	0,0812	0,423	0,0763	0,109	0,0589	0,285	0,0873	0,063	0,0311	0,063	0,442	0,097	0,24	0,031	0,087	0,063
143	0,733	0,037	0,2	0,0393	0,246	0,0803	0,318	0,2068	0,191	0,0434	0,555	0,0852	0,191	0,733	0,212	0,374	0,037	0,207	0,082
128	0,181	0,0058	0,262	0,0095	0,195	0,0038	0,234	0,0038	0,24	0,0188	0,06	0,0014	0,06	0,262	0,145	0,195	0,001	0,019	0,007
129	0,269	0,0366	0,204	0,0354	0,27	0,0198	0,339	0,0385	0,531	0,0578	0,421	0,0655	0,204	0,531	0,248	0,339	0,020	0,066	0,042
132	0,757	0,0063	3,425	0,0103	3,299	0,0061	5,394	0,0058	3,413	0,0013	2,654	0,0096	0,757	5,394	2,237	3,157	0,001	0,010	0,007

Code Station	puissance spécifique	Granulométrie (mm)			Couche d'armure (cm)	Zones humides					Bois en rivière										
		D10	D50	D90		Long. ZH obs. (m)	Nbre ZH obs.	Surf. Tot. (m²)	Nbre ZH/100m	Surf. ZH/100m	Nombre	diam. moy. (cm)	Ecart type diam.	Long. moy. (cm)	Ecart type Long.	Nombre de bois par rôle (un bois peut avoir plusieurs rôles)					
																RMO	ED	EP	BS	BOF	I
2	160,567	2	21	70	20	60	0	0	0,0	0,0	16	5,5	3,8	56,9	21,4	0	0	0	9	0	7
3	29,021	1	3	43,1	non identifiée	80	2	150	2,5	187,5	9	6,2	5,1	91,8	51,8	8	1	1	2	1	0
5	15,377	0,03	0,03	5	0,5	500	3	6160	0,6	1232,0	14	11,1	8,2	65	29,4	4	1	0	3	1	5
6	11,474	0,03	1	5,5	non identifiée	80	0	0	0,0	0,0	15	5,4	2,8	132	110,1	8	2	3	3	5	0
16	59,621	30	63,5	125	10	600	1	3000	0,2	500,0	1	10	0,0	90	0,0	1	0	0	0	0	0
17	102,770	25,8	50	110,3	15	120	0	0	0,0	0,0	3	5	1,3	79	28,2	2	0	0	0	1	1
27	76,966	11,7	26	205	15	70	0	0	0,0	0,0	7	2,6	0,8	74,3	39,6	3	0	0	0	0	4
30	75,456	38,9	72,5	130,2	non identifiée	80	0	0	0,0	0,0	10	3,4	1,4	85,8	46,2	8	2	0	0	1	0
32	40,847	26,7	73,5	175	non identifiée	150	0	0	0,0	0,0	11	6,3	6,5	101,4	41,9	1	1	5	0	0	4
35	38,038	16,9	38	91	25	60	0	0	0,0	0,0	17	6,6	6,4	98,8	59,9	3	0	3	1	1	9
37	107,212	8	38	78,2	26	80	5	330	6,3	412,5	22	4,6	2,8	57,7	25,4	7	0	2	1	0	12
38	6,836	0,03	0,03	0,03	non identifiée	45	4	1032	8,9	2293,3	28	6	5,9	108,8	57,5	20	3	0	1	0	6
41	2,226	1	3	6	11	50	4	825	8,0	1650,0	22	6,2	3,8	137,5	63,5	16	6	0	1	5	2
54	3,098	2,9	5	15	3	30	2	900	6,7	3000,0	4	13,4	18,7	23	11,4	0	0	0	0	1	3
65	0,297	1	1	1	3,5	150	4	2750	2,7	1833,3	17	4,3	2,2	101,3	48,1	10	1	0	0	0	7
69	62,374	0,03	1	7,3	25	300	8	2773	2,7	924,3	35	4,1	5,4	101,4	86,1	18	13	2	4	10	0
70	53,407	12	32	65,4	3	30	1	50	3,3	166,7	30	4,1	1,8	88,4	47,9	20	5	0	1	3	8
74	10,172	1	1	1	non identifiée	350	2	15000	0,6	4285,7	0	0	0,0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
82	8,028	1	4	280,5	non identifiée	150	3	930	2,0	620,0	2	5,8	3,2	90	42,4	0	0	0	0	1	1
92	185,608	16	27	37,2	20	70	2	65	2,9	92,9	10	4,2	1,0	109,2	60,2	4	0	2	1	0	3
95	256,844	14,9	73,5	171,5	50	300	0	0	0,0	0,0	10	3,6	0,7	79,1	57,9	4	0	0	0	0	6
102	2,666	2	11	24	4	300	0	0	0,0	0,0	22	5,4	1,7	96,9	88,4	9	0	0	4	0	12
103	12,026	0,03	0,03	0,03	non identifiée	30	2	900	6,7	3000,0	18	2	0,8	121,5	93,9	7	6	1	2	2	1
107	8,939	2	4	6	35	150	2	1650	1,3	1100,0	19	3,5	1,6	91,6	54,8	10	1	0	0	4	4
111	10,237	2	8,5	21,3	12	150	6	1025	4,0	683,3	3	3,7	1,1	79,3	104,5	1	1	0	0	0	2
113	3,970	10	45	90	10	80	1	100	1,3	125,0	5	14	22,9	124,4	48,5	0	0	3	0	1	1
118	3,641	2	4	6,2	12	200	3	5900	1,5	2950,0	10	8	8,8	51	20,7	0	2	2	1	5	0
119	20,939	2	6	17,1	non identifiée	400	6	12000	1,5	3000,0	4	3	0,0	64,8	24,4	0	0	0	0	0	4
142	99,604	13,9	32	122,3	60	120	3	337	2,5	280,8	11	11,6	17,3	85	47,3	1	1	1	5	1	2
143	90,782	9,8	28	70	50	170	2	900	1,2	529,4	13	3,4	0,8	76,4	51,5	1	1	2	6	0	4
128	28,819	7	21	125	non identifiée	70	0	0	0,0	0,0	11	3,6	0,7	81,4	48,4	1	0	0	3	0	7
129	10,475	16,9	26	40	5	100	2	1050	2,0	1050,0	25	4,8	2,0	99,9	75,3	10	2	0	1	1	13
132	291,315	13,9	22,5	50,1	25	250	0	0	0,0	0,0	30	4,8	4,1	122,8	89,2	10	3	0	0	1	16

Code Station	Litière		Eclaircissement moy. (ET) %	Faciès d'écoulement													
	type	Volume (m3)		Nombre total de faciès	Richesse des faciès	Taille moy. (m)	Taille max (faciès) n	Type faciès Tmax	Taille min (faciès) n	Type faciès Tmin	Nombre de faciès						
											RAD	PLL	PLC	MC	FD	RAP	CH
2	Feuillus	15,00	88,8	22	4	1,3	5,0	RAD	0,5	CH	7	0	4	0	5	0	6
3	Feuillus	6,00	30	12	4	2,5	7,2	PLC	0,2	CH	5	0	4	0	1	0	2
5	Feuillus	3,75	75	3	2	10,0	19,0	PLC	2,0	RAD	1	0	2	0	0	0	0
6	Feuillus	3,00	58,3	15	3	2,0	7,1	PLL	0,2	CH	0	7	6	0	0	0	2
16	Absence	0,00	95	11	7	3,1	5,4	PLC	0,5	CH	3	1	1	1	2	1	2
17	Feuillus	4,50	53,3	11	5	2,7	6,6	RAD	0,5	CH	4	0	2	0	1	2	2
27	Feuillus	13,50	70	9	5	3,3	9,4	PLL	0,5	RAP	1	2	2	0	0	3	1
30	Absence	0,00	90	8	3	3,8	6,5	PLL	1,4	RAD	3	3	2	0	0	0	0
32	Mixte	7,50	45	7	3	4,3	6,7	RAD	0,8	CH	4	0	0	2	0	0	1
35	Feuillus	12,00	96,3	5	4	5,7	13,0	RAD	0,5	FD	2	1	0	0	1	0	1
37	Feuillus	11,63	85	15	5	2,0	7,0	RAD	0,5	CH	2	1	4	0	4	0	4
38	Mixte	12,75	70	9	4	3,4	13,0	PLL	1,0	FD & CH	0	4	2	0	1	0	2
41	Feuillus	3,00	70,7	7	2	4,3	13,0	PLC	1,0	PLL	0	3	4	0	0	0	0
54	Feuillus	14,55	71,8	6	5	6,7	19,2	PLL	0,3	FD	0	1	2	0	1	1	1
65	Feuillus	0,90	96	3	2	10,0	19,5	PLL	1,0	PLC	0	2	1	0	0	0	0
69	Feuillus	4,37	80	4	2	7,5	12,0	RAD	5,0	PLC	2	0	2	0	0	0	0
70	Feuillus	6,00	96,7	1	1	30,0	30,0	RAD	30,0	RAD	1	0	0	0	0	0	0
74	Herbacée	22,50	85,3	5	4	4,3	17,7	PLL	0,2	FD	0	2	0	0	1	1	1
82	Feuillus	1,25	60	4	2	7,9	15,0	PLC	3,5	RAD	2	0	2	0	0	0	0
92	Feuillus	6,00	49,8	9	3	2,5	6,0	PLL	1,0	PLL	4	3	2	0	0	0	0
95	Feuillus	9,00	61,5	11	5	2,7	8,8	RAP	0,2	CH	2	0	1	0	2	3	3
102	Feuillus	5,25	50,5	3	2	10,0	16,0	PLL	0,5	CH	0	2	0	0	0	0	1
103	Mixte	39,00	70	7	2	4,3	10,0	PLL	1,5	PLC	0	4	3	0	0	0	0
107	Feuillus	14,25	75,5	14	5	2,0	10,0	PLC	0,5	CH	0	2	6	2	2	0	2
111	Feuillus	4,50	63,3	8	2	3,8	10,0	PLC	1,0	PLC	4	0	4	0	0	0	0
113	Feuillus	10,13	75	3	3	10,0	17,5	PLL	4,0	PLC	1	1	1	0	0	0	0
118	Feuillus	8,25	64	16	4	1,9	4,4	PLC	0,2	MC	1	6	4	5	0	0	0
119	Feuillus	0,65	78,3	5	3	6,3	17,0	PLL	1,5	RAD	2	2	1	0	0	0	0
142	Mixte	12,00	85	18	5	1,6	4,5	RAD	0,2	CH	4	0	3	0	4	2	5
143	Mixte	3,75	98,5	10	5	3,0	6,5	RAD	0,5	CH	3	0	2	0	2	2	1
128	Feuillus	2,25	40	14	5	2,0	5,0	RAD	0,2	CH	4	4	0	1	3	0	2
129	Feuillus	12,00	56	2	2	15,0	19,0	PLC	11,0	PLL	0	1	1	0	0	0	0
132	Feuillus	3,75	72,3	9	5	2,3	9,0	PLC	0,2	CH	1	2	1	0	3	0	2

Code Station	Erodabilité des berges			Gabarit du lit					Occupation du sol														
	Note (Alexandre)	Note (Thais)	Appréciation	HT max 6	HT max 15	Lpb moy. 6	Lpb moy. 15	L/H	Aire (ha)	Type (ha)													
										112	122	211	231	242	243	311	312	313	322	324	412		
2	31	28	faible	0,510	NO DATA	1,783	NO DATA	3,496	34,448	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	34,448	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	17	20	moyenne	0,204	0,231	2,325	1,594	11,397	19,812	0,000	0,000	0,000	10,086	9,726	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	12	12	faible	0,297	NO DATA	2,067	NO DATA	6,960	71,495	0,000	0,000	9,593	0,838	0,000	0,000	61,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	18,5	18,5	moyenne	0,156	0,175	1,150	0,969	7,372	16,300	0,000	0,000	12,929	3,371	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	29	23	moyenne	0,892	0,889	2,683	2,352	3,008	182,397	0,000	0,000	1,809	0,000	8,325	0,000	0,000	0,000	0,000	172,263	0,000	0,000	0,000	0,000
17	4	4	faible	0,531	0,557	1,172	1,255	2,207	82,466	0,000	0,000	0,000	17,124	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	65,340	0,000	0,000	0,000	0,000
27	4	4	faible	0,801	0,779	1,505	1,583	1,879	130,429	0,000	0,000	0,000	23,676	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	106,753	0,000	0,000	0,000	0,000
30	24	23	moyenne	0,676	0,763	2,097	2,119	3,102	99,553	0,000	0,000	0,000	0,000	15,000	0,000	0,000	0,000	0,000	62,415	0,000	0,000	22,138	0,000
32	4	4	faible	0,807	0,793	3,723	3,584	4,613	395,622	0,000	0,000	0,000	0,000	72,314	0,000	0,000	72,399	0,000	249,546	1,364	0,000	0,000	0,000
35	33	24	faible	0,337	NO DATA	1,825	NO DATA	5,415	167,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	153,079	13,961	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37	20,75	18,5	faible	0,510	NO DATA	1,650	NO DATA	3,235	117,107	0,000	0,000	0,000	1,557	0,000	0,000	115,551	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
38	7,5	9	faible	0,323	NO DATA	2,469	NO DATA	7,644	87,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,566	0,000	27,902	56,922	0,000	0,000	1,702	0,000	0,000	0,000
41	20	20	importante	0,212	NO DATA	1,298	NO DATA	6,123	35,860	0,000	0,000	0,000	0,000	16,024	0,000	11,346	8,490	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
54	22	21	importante	0,309	NO DATA	2,194	NO DATA	7,100	165,146	0,000	0,000	0,000	0,000	156,941	0,000	8,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65	24	22	importante	0,341	0,346	1,467	1,544	4,302	23,849	0,000	0,000	9,532	0,000	0,064	14,254	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
69	17	17	moyenne	0,214	NO DATA	2,000	NO DATA	9,346	13,617	0,000	0,000	0,000	0,000	13,060	0,000	0,557	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
70	32	26	moyenne	0,160	NO DATA	1,888	NO DATA	11,800	10,064	0,000	0,000	0,000	0,000	6,062	0,000	4,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
74	21	21	importante	0,324	NO DATA	0,632	NO DATA	1,951	34,006	0,000	0,000	0,000	0,000	34,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
82	21	19	faible	0,464	NO DATA	1,517	NO DATA	3,269	70,789	0,000	0,000	12,750	0,000	3,398	26,509	26,698	1,435	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
92	23,5	20,5	importante	0,683	0,692	2,458	2,584	3,599	87,111	0,000	0,000	19,567	0,491	1,257	0,000	60,600	5,197	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
95	4	4	faible	0,828	0,853	3,383	3,356	4,086	193,585	27,465	0,000	77,584	6,739	70,227	0,000	11,571	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
102	20	12	faible	0,502	0,482	3,000	3,119	5,976	205,589	0,000	0,000	0,000	55,263	33,111	0,000	54,220	62,995	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
103	7,5	9	faible	0,282	NO DATA	2,575	NO DATA	9,131	220,800	0,000	1,320	0,022	0,000	0,003	0,000	64,372	62,494	64,622	0,000	27,967	0,000	0,000	0,000
107	20	20	faible	0,287	0,285	1,210	1,186	4,216	35,950	0,000	0,000	19,955	0,000	15,995	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
111	7	7	faible	0,512	0,504	1,600	1,619	3,125	83,472	0,000	0,000	1,979	0,000	81,493	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
113	14,5	14,5	faible	0,502	0,483	1,583	1,513	3,153	177,429	0,000	0,000	0,000	23,490	138,163	0,008	15,768	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
118	12,5	14	moyenne	0,300	0,386	0,717	0,713	2,390	27,715	0,570	0,000	0,216	26,930	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
119	14,5	15	importante	0,432	0,430	0,967	1,016	2,238	48,327	0,000	0,000	0,000	20,821	20,575	0,000	6,932	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
142	38	29	importante	0,426	NO DATA	1,283	NO DATA	3,012	110,251	0,000	0,000	0,000	0,000	33,150	0,000	67,252	0,395	9,455	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
143	30,25	24	moyenne	0,563	NO DATA	1,117	NO DATA	1,984	195,912	0,000	0,000	0,000	0,000	55,168	0,000	109,018	12,250	1,479	0,000	17,998	0,000	0,000	0,000
128	29,5	25,5	moyenne	0,319	NO DATA	1,882	NO DATA	5,900	85,438	0,000	0,000	0,000	53,227	0,000	0,000	11,145	20,514	0,552	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
129	27	22	faible	0,426	NO DATA	3,700	NO DATA	8,685	265,971	0,000	0,000	0,006	0,004	0,000	0,000	49,998	194,510	0,000	0,000	21,452	0,000	0,000	0,000
132	23	20	importante	1,153	NO DATA	3,310	NO DATA	2,871	82,523	0,000	0,000	0,000	13,596	0,000	0,000	39,712	18,790	0,000	0,000	10,425	0,000	0,000	0,000

Code Station	Ripisylve								
	Nbre. Strates	Ep. Strate arborée	D. pied de berge	Nbre. d'arbres à chevelu racinaire	Nombre d'arbres				
					Semis	Perches	Bois	Gros bois	bois + gros bois
2	3	>15	2,5	5	0	28	5	0	5
3	3	10 à 15	1,75	8	1	4	20	5	25
5	2,5	0 à 5	0,5	0	0	0	8	0	8
6	3	5 à 15	0,5	7	3	11	14	3	17
16	1	0	0	0	1	0	0	0	0
17	3	5 à 15	1,25	2	21	6	19	1	20
27	2	rideau à 15	3	4	19	2	9	2	11
30	1	Rideau	0	0	5	2	3	0	3
32	3	>15	0,75	4	15	8	3	5	8
35	3	>15	1,5	5	1	1	20	0	20
37	3	>15	0,625	12	22	46	15	0	15
38	3	10 à >15	0,9	5	56	77	35	0	35
41	3	>15	1,05	5	19	5	12	2	14
54	1	0	6	0	0	1	0	0	0
65	2,5	5 à 10	1,25	3	4	1	12	0	12
69	3	10 à >15	1	8	42	7	9	11	20
70	3	>15	0,75	4	5	17	11	4	15
74	1	0 à 10	5	0	0	0	0	1	1
82	3	>15	4	10	20	14	6	12	18
92	2,5	>15	0,5	30	90	75	9	0	9
95	3	10 à >15	0,375	15	13	33	18	1	19
102	3	>15	0,5	5	30	46	25	0	25
103	3	>15	0,2	0	14	91	48	0	48
107	3	5 à 10	2,65	7	0	7	10	4	14
111	2,5	rideau à 15	0,6	4	9	11	3	3	6
113	2,5	rideau à 10	0,2	5	2	5	10	5	15
118	3	5 à 15	2	11	24	5	20	5	25
119	2,5	5 à >15	0	3	0	3	5	0	5
142	3	>15	5	7	47	5	8	15	23
143	2	>15	1,35	9	12	13	17	7	24
128	3	>15	1,5	1	6	11	9	5	14
129	2,5	>15	0	2	6	12	7	9	16
132	2	5 à 15	0,3	10	3	4	24	1	25



RESUME

En dépit de nombreux services écologiques rendus, les cours d'eau en tête de bassin versant, souvent négligés, sont fréquemment soumis à divers perturbations affectant leur structure et fonctionnement. Pour répondre à ces problèmes, le SDAGE Loire – Bretagne 2010-2015, en réponse à la Directive Cadre Eau (DCE), met en avant l'importance de l'hydromorphologie dans la gestion des milieux aquatiques, milieux dans lesquels les têtes de bassin versant jouent un rôle prépondérant dans le maintien du bon état écologique des eaux. C'est dans ce contexte que la DIR2 de l'ONEMA met en place le projet « Tête de bassin versant », visant à évaluer l'état écologique de ces petits cours d'eau. Inspiré en grande partie du protocole CARHYCE et des travaux d'Aurélia Mathieu (2010), ce protocole a pour enjeu principal la caractérisation du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant en situation de référence. Basé principalement sur des données hydromorphologiques quantitatives, il permettra *in fine* de construire des indicateurs permettant de comparer tout cours d'eau avec cette situation de référence et d'en évaluer le degré de perturbation.

Mots clés : Tête de bassin versant, hydromorphologie, cours d'eau, conditions de référence.

ABSTRACT

Despite many ecological services return, headwater streams, often ignored, are frequently subjected to various disturbances affecting their structure and function. To address these problems, the SDAGE Loire-Bretagne, in response to the Water Framework Directive (WFD), highlights the importance of hydromorphology in the management of aquatic environments, environments in which headwaters take an important role in maintaining the good ecological status of water. It's in this context that the DIR2 of ONEMA implements the project "Headwater", aimed at assessing the ecological status of these small streams. Inspired largely by CARHYCE protocol and Aurelia Mathieu's work (2010), this protocol characterizes hydromorphological functioning of these systems in reference situation. Based on quantitative hydromorphological data, it will *in fine* build indicators to compare any streams with this reference situation and permit to assess the degree of disturbance.

Key words: Headwaters streams, hydromorphology, reference condition