

## Rapport de stage

Master 2

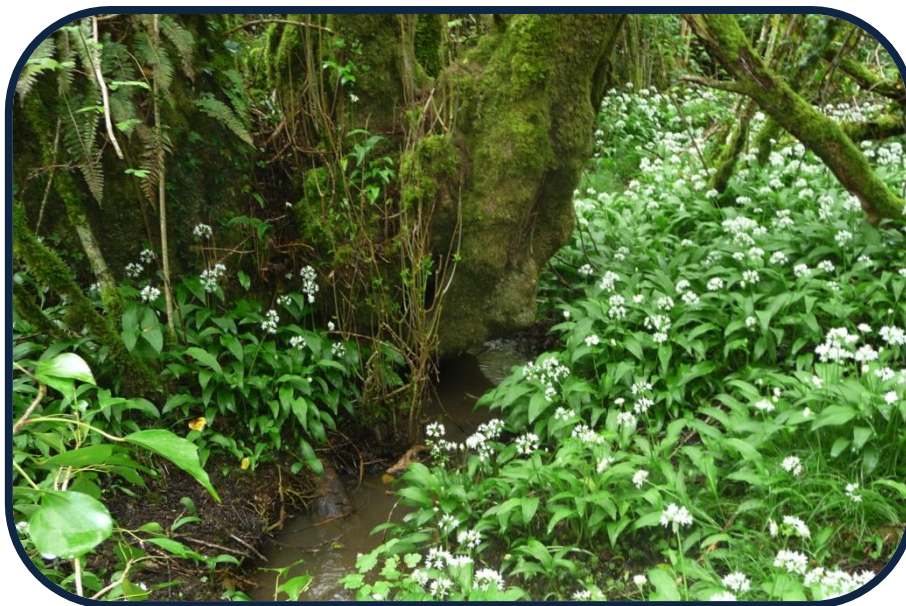
*Mention Science de la terre et de l'environnement (STE)*

*Spécialité Hydrogéologie - hydrobiogéochimie - Hydropédologie (H<sup>3</sup>)*

---

# Étude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant armoricains en situation de référence

---



**Mathieu Bossis**

*Stage effectué du 12.03.2014 au 12.09.2014*

*À la Délégation Interrégionale Bretagne-Pays de la Loire*

*Soutenu le 05.09.2014*

Sous la direction de : Olivier Ledouble et Mikaël Le Bihan (ONEMA)

Tuteur universitaire : Luc Aquilina (OSUR - Université de Rennes 1)

Relecteurs : Olivier Ledouble et Mikaël Le Bihan

## Remerciements

---

Mes premiers remerciements s'adressent à Luc Aquilina et Christian Walter, coresponsables du Master H<sup>3</sup>, sans qui je n'aurais pu effectuer ce stage. Merci infiniment pour votre compréhension et votre aide.

Très heureux de mon passage à l'ONEMA, je remercie chaleureusement toute l'équipe de la délégation interrégionale Bretagne-Pays de la Loire pour leur accueil respectueux, leur disponibilité, et leur convivialité quotidienne qui m'ont fait me sentir à ma place, rendant le travail au bureau agréable.

Je remercie les membres des services départementaux Bretagne-Pays de la Loire, que j'ai côtoyés durant la phase terrain de mon stage pour l'expertise de leur territoire respectif facilitant la prospection de cette belle région (la Bretagne bien sûr !). Les missions de terrain furent pour moi une expérience réjouissante grâce à la convivialité et la bonne humeur qui règnent au sein des différentes équipes départementales.

Enfin, j'adresse des remerciements appuyés à mes deux maîtres de stage, Olivier Ledouble et Mikaël Le Bihan, respectivement technicien supérieur et technicien de l'environnement avec qui j'ai partagé le plus clair de mon temps. Mêlant le sérieux et l'humour, toujours disponibles, ils ont su, par leurs conseils judicieux répondre à chaque besoin tout au long de ces six mois (et jusqu'à la dernière minute !). Habités aux remerciements annuels de leurs stagiaires, ils resteront pour moi plus que de simples maîtres de stage.

## Table des abréviations

---

AURAH-CE : AUdit RAPide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau  
BV : Bassin Versant  
CARHYCE : CARactérisation de l'HYdromorphologie des Cours d'Eau  
DCE : Directive Cadre sur l'Eau  
HER 1 : Hydroécocorégion de niveau 1  
HER 2 : Hydroécocorégion de niveau 2  
EOG : Élément Organique Grossier  
IAM : Indice d'Attractivité Morphodynamique  
IQM : Indice di Qualità Morfologica  
LAWA : Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser  
MAO : Massif Armoricaïn Ouest  
MAEI : Massif Armoricaïn Est Intérieur  
MANE : Massif Armoricaïn Nord Est  
MASI : Massif Armoricaïn Sud Intérieur  
MOPF : Matière Organique Particulaire Fine  
MOPG : Matière Organique Particulaire Grossière  
REH : Réseau d'Évaluation des Habitats  
RHS : River Habitat Survey  
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux  
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux  
SYRAH : Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie  
TBV : un cours d'eau de Tête de Bassin Versant  
ZH(s) : une (ou des) Zone(s) Humide(s)

## Glossaire

---

*Corridor rivulaire* : Bande de végétation naturelle située le long d'un cours d'eau, et qui se différencie de la matrice environnante, comprenant la berge, la plaine d'inondation et une partie des terrasses alluviales (<http://www.glossaire.eaufrance.fr>).

*Entité physiographique* : Au nombre de 29 pour la région Bretagne, les entités physiographiques sont définies sur la base d'une classification d'unités de paysage (portion d'espace homogène et cohérente tant sur les plans physiologiques, biophysiques et socioéconomiques, [http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/unites\\_structures\\_paysageres.pdf](http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/unites_structures_paysageres.pdf), <http://www.sols-de-bretagne.fr>).

*Équitabilité de Shannon-Weaver (E)* : Calculé à partir de l'indice de diversité de Shannon-Weaver ( $H'$ ), il est minimal quand tous les "individus" du peuplement étudié appartiennent à un seul et même type. Il est également minimal si, dans un peuplement, chaque élément est représenté par un seul "individu", excepté un type qui compte l'ensemble des autres "individus" du peuplement. À l'inverse, l'indice est maximal quand tous les "individus" sont répartis de façon équivalente entre tous les types présents.

## Table des illustrations

---

TABLEAU 1 : SECTIONS DU PROTOCOLE TBV. ....	7
TABLEAU 2 : BARYCENTRES DES VARIABLES EXPLICATIVES PAR CLASSES (CODE COULEUR EN CORRESPONDANCE AVEC LES CLASSES DU DENDROGRAMME, FIGURE 8).....	10
TABLEAU 3 : PRINCIPAUX RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE VARIABLES (METHODE SPEARMAN). ....	11
TABLEAU 4 : COMPARAISON DES VARIABLES 2013 ET 2014 (TESTS POSITIFS REPRESENTES EN VERT, NIVEAU DE SIGNIFICATION = 5 %). ....	12
TABLEAU 5 : VALEURS GUIDES MOYENNES DE LA LARGEUR, DE LA HAUTEUR PLEIN BORD ET DU RATIO DE FORME (A) REPARTITION PAR CLASSE DU RATIO DE FORME (B). ....	12
FIGURE 1 : SITUATION DES STATIONS 2013 ET 2014 SUIVANT LES HYDROECOREGIONS DE NIVEAU 2. ....	4
FIGURE 2 : OCCUPATION DU SOL SUR LE TERRITOIRE BRETON (DONNEES : ENQUETE TERUTI-LUCAS, 2010). ....	5
FIGURE 3 : REPARTITION DES STATIONS 2013 ET 2014 PAR HYDROECOREGION DE NIVEAU 2. ....	5
FIGURE 4 : BOITES A MOUSTACHES DES PARAMETRES HYDROMORPHOLOGIQUES PRINCIPAUX (EN ROUGE, $\mu$ , MOYENNE DE L'ECHANTILLON $\pm$ L'ECART TYPE ; VALEURS MIN ET MAX EN BLEU). ....	8
FIGURE 5 : BOITE A MOUSTACHE DU RATIO DE FORME MOYEN A PLEIN BORD. ....	9
FIGURE 6 : CLASSES DE SINUOSITE DES TBV 2013 -2014. ....	9
FIGURE 7 : ACP DES VARIABLES PRINCIPALES SUR LE JEU DE DONNEES 2013 – 2014. ....	10
FIGURE 8 : DENDROGRAMME D'UNE CLASSIFICATION HIERARCHIQUE ASCENDANTE A PARTIR DES VARIABLES PRINCIPALES DU JEUX DE DONNEES 2013 – 2014. ....	11
FIGURE 9 : PROFIL EN TRAVERS D'UNE SECTION MOYENNE (BERGES FICTIVES EN POINTILLE). ....	12
FIGURE 10 : REPARTITION MOYENNE PAR CLASSES GRANULOMETRIQUES DES $D_{16}$ (A), $D_{50}$ (B), ET $D_{84}$ (C) SUR RADIER (D'APRES L'ECHELLE GRANULOMETRIQUE DE WENTWOTH MODIFIEE ; V = VASE ; A = ARGILE ; L = LIMON ; SF = SABLE FIN ; SG = SABLE GROSSIER ; GF = GRAVIER FIN ; GG = GRAVIER GROSSIER ; CF = CAILLOU FIN ; CG = CAILLOU GROSSIER ; PF = PIERRE FINE ; PG = PIERRE GROSSIERE) . ....	13
FIGURE 11 : APPRECIATION DE LA COHESION DE LA COUCHE D'ARMURE ....	13
FIGURE 12 : NOMBRE TOTAL DE FACIES D'ECOULEMENT PAR STATION ....	13
FIGURE 13 : SUCCESSION MOYENNE DES FACIES D'ECOULEMENT EN PRESENCE / ABSENCE (A) ET PROPORTION EN LONGUEURS CUMULEES (B) POUR LES 28 STATIONS DE REFERENCE PROSPECTEES EN 2014. ....	13
FIGURE 14 : COMPOSITION MOYENNE D'ELEMENT VEGETAUX (A) ET DIVERSITE VEGETALE MOYENNE (B) DANS LE LIT MOUILLE ....	14
FIGURE 15 : POURCENTAGE MOYEN DE BRYOPHYTES PAR STATION. ....	14
FIGURE 16 : NOMBRE TOTAL MOYEN D'OBSTACLES A L'ECOULEMENT (A) ET COMPOSITION MOYENNE DES OBSTACLES A L'ECOULEMENT (B). ....	15

## Table des matières

---

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1. DEFINITION DES COURS D'EAU DE TETE BASSIN VERSANT	1
1.2. ROLES ET FONCTIONS DES TBV	2
1.3. LES OUTILS D'EVALUATION DE L'HYDROMORPHOLOGIE EN TETE DE BASSIN VERSANT	2
1.4. LES TBV : DES SYSTEMES TRES VULNERABLES	3
1.5. L'HYDROMORPHOLOGIE EN APPUI A LA GESTION DE CES MILIEUX	3
1.6. CONTEXTE DE L'ETUDE	3
<b>2. METHODE</b>	<b>4</b>
2.1. CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE	4
2.2. CHOIX ET SITUATION DES TBV EN ETAT DE REFERENCE SELECTIONNES	5
2.3. LE PROTOCOLE TBV	6
2.4. SAISIE DES DONNEES	7
2.5. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES	7
<b>3. RESULTATS</b>	<b>8</b>
3.1. RESULTATS OBTENUS A PARTIR DU JEU DE DONNEES 2013 - 2014	8
3.2. RESULTATS OBTENUS A PARTIR DU JEU DE DONNEES 2014	12
<b>4. DISCUSSION</b>	<b>15</b>
4.1. TYPOLOGIE DES TBV ARMORICAINS EN SITUATION DE REFERENCE	15
4.2. PRECONISATIONS TECHNIQUES A DESTINATION DES GESTIONNAIRES DES MILIEUX AQUATIQUES	18
<b>5. CONCLUSION</b>	<b>19</b>
<b>6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>20</b>
<b>RESUME</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>1</b>
<b>ANNEXE 1. PROTOCOLE DE TERRAIN VERSION 2014</b>	<b>1</b>
<b>ANNEXE 2. MODIFICATIONS APPORTEES AU PROTOCOLE 2013 MIS EN PLACE PAR A. JAN</b>	<b>8</b>
<b>ANNEXE 3. CARTOGRAPHIE DES STATIONS ECHANTILLONNEES EN 2013 ET 2014 PAR ENTITE PHYSIOGRAPHIQUE</b>	<b>11</b>
<b>ANNEXE 4. MATRICE DES CORRELATIONS : RESULTATS BRUTS</b>	<b>12</b>
<b>ANNEXE 5. COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS DES VARIABLES DES JEUX DE DONNEES 2013 ET 2014</b>	<b>13</b>
<b>ANNEXE 6. REPARTITION DES STATIONS PAR CLASSES DE RATIO DE FORME</b>	<b>14</b>
<b>ANNEXE 7. ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA GRANULOMETRIE MOYENNE SUR L'ENSEMBLE DE LA STATION, JEU DE DONNEES 2014 (28 STATIONS BRETONNES)</b>	<b>15</b>

## 1. Introduction

---

La Directive Cadre européenne sur l'Eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000 (DCE) établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe aux États membres un objectif général de non-dégradation et d'atteinte du "bon état" des cours d'eau à l'échéance de 2015, sauf reports justifiés en 2021 et 2027. La réponse à cet objectif est une des priorités de l'Office National de l'Eaux et des Milieux Aquatiques (ONEMA). Établissement public national sous la tutelle du Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE), il accompagne la mise en œuvre de la politique de l'eau en s'appuyant sur son expertise technique et scientifique auprès des acteurs de l'eau.

Le "bon état écologique" est la résultante d'une exigence environnementale sur la qualité des milieux et de leurs fonctionnalités écologiques. Son évaluation prend en compte le "bon état physico-chimique" ainsi que le "bon état biologique", les caractéristiques hydromorphologiques n'étant pas directement prises en compte. Elles sont en revanche considérées comme facteur explicatif de l'état biologique.

L'hydromorphologie d'un cours d'eau correspond à ses caractéristiques hydrologiques (état quantitatif et dynamique des débits, connexion aux eaux souterraines) et morphologiques (variations de la profondeur et de la largeur du lit, caractéristiques du substrat, et de la zone riparienne) ainsi qu'à sa continuité écologique (migration des organismes aquatiques et transport de sédiments). Elle résulte de la conjugaison de caractéristiques climatiques, géologiques, du relief et de l'occupation des sols.

L'état des lieux de 2013 réalisé par les agences de l'eau révèle que 50 % des masses d'eau risquent de ne pas atteindre le bon fonctionnement écologique en raison d'un mauvais fonctionnement hydromorphologique (AELB, 2013). Ce constat incite les gestionnaires des milieux aquatiques et de la ressource en eau à diriger leurs actions vers l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau ainsi que la mise en œuvre d'opérations de restauration de ces milieux.

Les écosystèmes aquatiques en tête de bassin versant ont suscité l'intérêt accru des scientifiques depuis le début des années 2000 (Le Bihan, 2012) avec notamment une prise de conscience aux États-Unis de l'importance fondamentale de ces milieux que Meyer et coll. révèlent en 2007 dans *The scientific imperative for defending small streams and wetlands* (Lheritier, 2012). Cet attrait nouveau a conduit les politiques de l'eau à intégrer cette thématique émergente dans leurs orientations de gestion qui se traduit par exemple par la rédaction d'un chapitre spécifiquement dédié à ces milieux dans le SDAGE Loire-Bretagne 2010 – 2015 (AELB, 2010).

### 1.1. Définition des cours d'eau de tête bassin versant

Un cours d'eau de tête de bassin versant (TBV) ne dispose pas d'une définition stricte et unique admise au niveau international. Cependant, les critères de caractérisation d'un TBV les plus couramment utilisés reposent de manière pragmatique sur la classification de Strahler (Strahler, 1952). En France, seuls les cours d'eau de rangs 1 et 2 à l'échelle 1 : 25 000 sont retenus comme TBV.



Malgré tout, la confrontation avec le terrain révèle les limites de ce critère (Gomi et coll., 2002) qui ne permet pas d'intégrer au mieux les aspects fonctionnels fondamentaux hydrogéomorphologiques et biologiques en lien avec la forte connectivité latérale de ces milieux (Vannote et coll., 1980 ; Nadeau et Rains, 2007). Ainsi la notion de rang 0 a été proposée (Benda et coll., 2005) pour qualifier cette complexité hydrologique constatée sur le terrain, qui rappelle la place majeure des multiples interactions milieux humides / cours d'eau (Janisch et coll., 2011).

Le SDAGE Loire-Bretagne définit les TBV comme "les bassins versants des cours d'eau dont le rang de Strahler est inférieur ou égal à deux et dont la pente est supérieure à 1 %". Le critère de pente évoqué est actuellement remis en cause (retour d'observations de terrain, Bretagne, ONEMA, 2014).

### 1.2. Rôles et fonctions des TBV

Les TBV ont des caractéristiques structurelles et fonctionnelles qui les distinguent des écosystèmes aval que ce soit en termes de processus hydrologique, géomorphologique ou biogéochimique (Gomi et coll., 2002). À la tête du réseau hydrographique, ils influencent directement les écosystèmes aval et de ce fait, les services écosystémiques de l'ensemble du réseau hydrographique (Lowe et Likens, 2005). En terme de dimension, ils représentent au moins 75% de la longueur totale du réseau hydrographique (Schumm, 1956 ; Shreve, 1969 ; Meyer et Wallace, 2001 ; Benda et coll., 2005 ; Le Bihan, 2009). Avec de telles proportions, ils contribuent de façon primordiale (50 à 70 %) à l'approvisionnement en eau des masses d'eau aval (Alexander et coll., 2007). Ils constituent inévitablement une source majeure d'apport sédimentaire. Cependant, étant donné l'augmentation de la capacité de transport avec la diminution de la taille des particules et de l'augmentation de la taille des cours d'eau (MacDonald et Coe, 2007), les TBV ont une capacité de rétention supérieure aux cours d'eau aval.

Les TBV participent à la rétention et à la transformation des matières minérales, mais aussi organiques permettant ainsi de contrôler la qualité et la quantité de matière exportée vers les écosystèmes aval (Vannote et coll., 1980 ; Alexander et coll., 2007). La décomposition des litières est un "Processus clé qui dirige le fonctionnement des TBV" (Lecerf, 2005 ; Baudoin, 2007). Des études révèlent qu'au moins 50% des nitrates provenant des têtes de bassin versant (ordre de Strahler 1, 2 et 3) sont transférés aux cours d'eau d'ordres supérieurs (Alexander et coll., 2007).

Les TBV ont également un fonctionnement biologique particulier. Ils constituent des habitats d'une grande biodiversité avec une faune et une flore spécifique (Meyer et coll., 2007).

### 1.3. Les outils d'évaluation de l'hydromorphologie en tête de bassin versant

Deux approches complémentaires sont possibles : linéaire et stationnelle. Plusieurs outils et méthodes d'évaluation **linéaire** existent au niveau national (SYRAH, AURHACE, REH) et international (RHS, IQM, LAWA), et **d'évaluation stationnelle** (CARHYCE, IAM) au niveau national, et aucun identifié au niveau international. Ils ne sont pas adaptés à la petite échelle des têtes de bassin versant. L'adaptation de méthodes d'évaluation en tête de bassin versant est récente (Nguyen Van, 2012 ; Spitoni, 2012 ; Uwe, 2013 ; Gob et coll., 2014) pour l'approche linéaire, et Fritz et coll., 2006 ; Mathieu, 2010 ; Jan, 2013 pour l'approche stationnelle.

#### 1.4. Les TBV : des systèmes très vulnérables

Les TBV sont des systèmes très sensibles du fait de leur petit gabarit, et de l'intermittence de leurs écoulements. Souvent considérés comme dérangeants, ou bien laissés à l'abandon de par leur difficulté d'accès, ce sont des milieux facilement aménageables, qui ne sont pas considérés comme des "rivières" dans la perception des riverains. Cette vulnérabilité les expose à nombre de pressions hydromorphologiques : des travaux hydrauliques (recalibrage, rectification, enterrement, curage, dérivation, extraction de granulats, retrait du bois du lit, dévégétalisation des berges), du drainage superficiel et souterrain, de la création de plans d'eau, des destructions de berges par piétinement, des obstacles à la continuité écologique, la chenalisation étant une des principales causes de dégradation des cours d'eau en tête de bassin versant (Wasson et coll., 1998 ; Muotka, 2002). L'enterrement des cours d'eau est une pression spécifique des TBV, par exemple en Moselle 99 % des cours d'eau enterrés sont des TBV (Le Bihan, 2009). Un dernier élément augmentant la vulnérabilité des TBV est l'absence de définition réglementaire générale sur la définition d'un cours d'eau.

#### 1.5. L'hydromorphologie en appui à la gestion de ces milieux

Deux tiers des cours d'eau étudiés dans le cadre d'un retour d'expérience sur la restauration hydromorphologique sont des TBV (Boudot – Grimaud, 2013).

Peu de guides de restauration sont adaptés aux TBV. Toutefois, dans le cadre du programme Life (2009), un guide ("Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux") a été écrit pour les professionnels des secteurs du développement et de l'aménagement des espaces qui n'ont pas de connaissances spécifiques en matière de restauration des cours d'eau. Mais de nombreuses questions se posent encore sur les modalités d'actions et les critères de dimensionnement associés (p. ex. succession radier / mouille, épaisseur de la recharge granulométrique, caractéristiques de la ripisylve, ratio de forme, etc.) ainsi que sur l'efficacité et la pérennité des opérations de restauration effectuées.

Des territoires ont initié la prise en compte des dispositions du SDAGE spécifiques aux TBV dans leur SAGE par exemple : le SAGE Couesnon (Choucard, 2011) ou les SAGE Huisne, Sarthe aval et Sarthe amont (Henner, 2013).

Le Parc Naturel Régional d'Armorique et le bassin versant de la Lieue de Grève, deux territoires bretons, ont d'ores et déjà entrepris une démarche de diagnostic simplifiée dans le cadre d'un objectif de restauration de ces cours d'eau.

Une convention, signée en 2011, existe entre l'ONEMA, le CNRS Metz et l'IRSTEA pour notamment évaluer les modes de gestion et de restauration en tête de bassin afin d'apporter des propositions techniques validées.

#### 1.6. Contexte de l'étude

En décembre 2012, la Délégation Bretagne-Pays de la Loire de l'ONEMA a engagé une réflexion sur la thématique "Têtes de bassin versant" ayant pour objectif d'améliorer la compréhension du fonctionnement de ces cours d'eau à travers leurs caractéristiques hydromorphologiques et biologiques. Une première étude, menée par Alexandre Jan en 2013, amorça cet objectif, en cherchant



à définir un état de référence hydromorphologique de ces cours d'eau. Un protocole de recueil de données a été élaboré à partir des travaux d'Aurélia Mathieu (2010) et du protocole CARHYCE de l'ONEMA puis testé et approuvé sur le terrain (A. Jan, 2013).

Dans la continuité du travail d'Alexandre Jan, cette présente étude s'attache à préciser les résultats obtenus en 2013 par l'acquisition de nouvelles données en affinant son protocole expérimental et la sélection de nouveaux TBV en situation de référence. Nous chercherons donc à répondre à deux axes complémentaires :

I. Préciser et révéler une typologie des TBV du Massif Armoricaire en situation de référence dans un but d'amélioration des connaissances empiriques du comportement de ces cours d'eau.

II. Fournir des préconisations techniques à partir de ces valeurs guides à destination des gestionnaires des milieux aquatiques.

## 2. Méthode

### 2.1. Contexte général de la zone d'étude

Les cours d'eau prospectés en 2014 pour cette étude se situent sans exception en région Bretagne, extrémité occidentale du bassin Loire-Bretagne. Cohérente hydrogéologiquement, la Bretagne et ses 27 208 km<sup>2</sup> fait partie de l'hydroécocorégion de niveau 1 "Massif Armoricaire" (HER 1 "MA"), qui se divise en quatre HER de niveau 2 (HER 2), deux principales, le "Massif Armoricaire Ouest" ("MAO") et le "Massif Armoricaire Est Intérieur" ("MAEI"), et deux marginales, le "Massif Armoricaire Sud Intérieur" ("MASI") et le "Massif Armoricaire Nord Est" ("MANE", Figure 1). Cette région est sous l'influence d'un climat tempéré océanique, caractérisé par des amplitudes thermiques annuelles peu marquées ainsi qu'une pluviométrie abondante et régulière (900 à 1400 mm pour l'HER 2 "MAO" et environ 700 mm pour l'HER 2 "MAEI" ; source Météo France). Les deux HER 2 principales s'agencent suivant un gradient topographique décroissant d'ouest en est. Le "Massif Armoricaire Ouest" est caractérisé par une géologie de type granitique, un relief marqué d'une altitude inférieure à

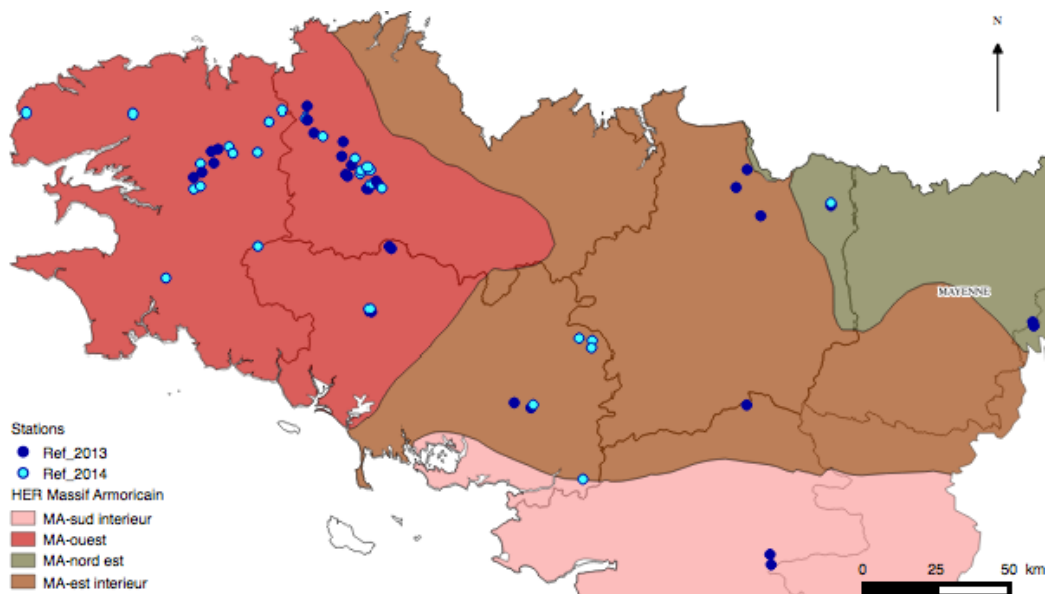


Figure 1 : Situation des stations 2013 et 2014 suivant les hydroécocorégions de niveau 2.

400 m et des vallées de pente moyenne, alors que le "Massif Armorican Est Intérieur" présente des reliefs schisteux (schistes, gneiss) plus imperméables proposant des altitudes inférieures à 100 m et des pentes beaucoup plus faibles.

Si les cours d'eau bretons sont de régime pluvio-océanique, la typologie des rivières suit ce gradient, avec à l'ouest, une forte densité de drainage, pour des cours d'eau de faible longueur, aux débits relativement soutenus et peu variables ; et à l'est, des cours d'eau avec de faibles débits d'étiage. Les cours d'eau de l'ouest armoricain sont de première catégorie piscicole (typologie salmonicole) alors que l'Est de la région est dominé par des cours d'eau de deuxième catégorie (typologie cyprinicole) ou de catégorie intermédiaire. En appliquant les résultats d'Alexander et coll. (2007, Cf.1.2) à la région Bretagne, avec approximativement 35 000 km linéaires de cours d'eau (BD TOPO, 2010), le potentiel de TBV de rang 1 serait d'au moins 19 250 km pour une surface drainée de 16 325 km<sup>2</sup>.

En Bretagne, l'occupation du sol est dominée par les espaces agricoles (62 %) avec majoritairement des exploitations d'élevage (bovin, porcin, volailles), qui expliquent la superficie des cultures, destinées essentiellement à l'alimentation animale. Les "espaces naturels" occupent quant à eux 26 % du territoire breton (Figure 2, enquête Teruti-Lucas, 2010).

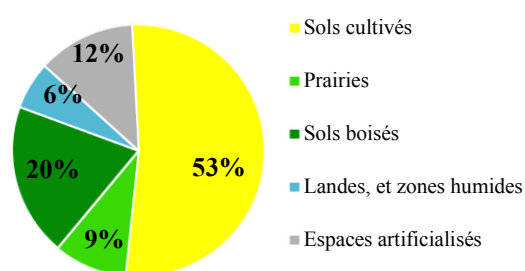


Figure 2 : Occupation du sol sur le territoire breton (données : enquête Teruti-Lucas, 2010).

## 2.2. Choix et situation des TBV en état de référence sélectionnés

En 2013, trente TBV issus de l'HER 1 "Massif Armorican" ont été étudiés par le "Protocole d'évaluation du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin versant en état de référence" que nous appellerons ici "protocole TBV". Sur ces trente stations, cinq d'entre elles font partie de la région Pays de la Loire, trois en Loire-Atlantique et deux en Mayenne, mais appartiennent toutes à l'HER 1 "Massif Armorican". En 2014, le jeu de données a été augmenté de 28 nouvelles stations exclusivement bretonnes. Avec 71 % des sites retenus, l'HER 2 "MAO" est largement représentée (Figure 3).

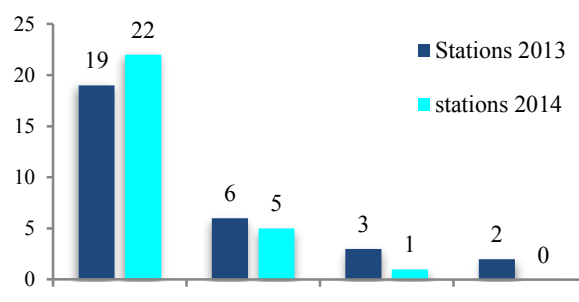


Figure 3 : Répartition des stations 2013 et 2014 par hydroécocorégion de niveau 2.

### Les stations 2014

Les critères de sélection des cours d'eau sont les mêmes qu'en 2013 (A. Jan, 2013) à savoir :

- ∅ **Discriminer les cours d'eau de tête de bassin versant :**
  - ∅ Cours d'eau de rang 1 selon la classification de Strahler
  - ∅ Pente inférieure à 5 %

∅ **Définir un état de référence :**

- ∅ Corridor rivulaire non entretenu d'une largeur minimale de 15 m par rive.
- ∅ Absence de plantation monospécifique (résineux, peupliers, etc.)
- ∅ Absence de travaux hydrauliques sur ou en amont de la station
- ∅ Absence de plan d'eau en amont du cours d'eau
- ∅ Absence de drainage latéral

Si la définition des TBV intègre les cours d'eau de rang 2, ces derniers ne sont pas retenus dans notre étude afin de limiter la variabilité entre les stations. Il en va de même pour le critère de pente qui permet ici de nous affranchir des cours d'eau de type torrentiel. Les résultats de 2013 ont montré une forte variabilité interstationnelle et notamment en raison d'imprécisions dans la détermination du rang des cours d'eau, difficultés dues aux différences entre la cartographie (à échelle 1/25 000) et la situation réelle de terrain (1.1). Une attention particulière a été accordée à ce critère en 2014. Concernant la définition d'un état de référence, la difficulté pour trouver des TBV en état de référence (répondant aux critères évoqués ci-dessus) oblige d'adopter plus de latitude face à ces critères. Signe de cette rareté, 17 TBV présélectionnés ont été refusés après prospection. À l'amont des stations, de légères perturbations hydrauliques sont donc acceptées dans la mesure où un fonctionnement hydromorphologique naturel (non perturbé) est observé sur la station (p. ex. une zone humide jouant un rôle de zone tampon entre la perturbation et la station).

Toujours dans le but de minimiser la variabilité des données, les TBV 2014 se situent dans les deux HER 2 principales bretonnes (excepté une station, Figure 1). En s'intéressant aux entités physiographiques, ce sont celle du "Massif du Quintin et des Monts d'Arrée" dans le département des Côtes-d'Armor et celle des "Monts d'Arrée" dans celui du Finistère qui comptent la grande majorité des TBV de référence avec respectivement 37 % et 22 % des stations. Cependant, douze entités physiographiques sont tout de même représentées (Annexe 3).

La sélection des sites s'est faite à partir de la connaissance des agents techniques de l'environnement des services départementaux de l'ONEMA de leur territoire, mais également à partir d'une approche cartographique, confirmée ensuite par leur expertise.

De par le caractère intermittent de certains cours d'eau et dans un souci de comparaison interannuelle des données, la phase d'échantillonnage doit se situer hors des périodes d'étiages pour que l'ensemble des particularités du cours d'eau puisse être mesuré. Elle s'est déroulée entre mars et juillet.

### 2.3. Le protocole TBV

Ce protocole expérimental (Annexe 1) a pour objectif d'être une méthode d'évaluation accessible, rapide et nécessitant peu de moyens matériels. Conçues pour limiter le plus possible la subjectivité des données, en favorisant le recueil de variables quantitatives, des modifications ont été apportées en ce sens afin de faciliter le travail de terrain et maximiser l'exploitation des données recueillies (Annexe 2). Un cours d'eau est prévu pour être étudié à 3 personnes qualifiées, en 1 h 30 à 2 h 00 de terrain pour un site présélectionné. Le protocole permet de relever les caractéristiques

hydromorphologiques des TBV de référence à partir d'une station de 30 m choisie comme représentative du cours d'eau. Composé de six fiches indépendantes, le protocole se divise en vingt sections (Tableau 1) :

Tableau 1 : Sections du protocole TBV.

A. Données générales	K. Mesures du gabarit du lit à plein bord
B. Caractéristiques du tronçon	L. Mesure de débit
C. Délimitation de la station	M. Occupation du sol dans le corridor rivulaire
D. Niveau d'intermittence des écoulements	N. Évaluation des habitats de zones humides caractéristiques le long du tronçon
E. Estimation de la rugosité sur la station (Méthode de Cowan)	O. Description de la ripisylve
F. Mesure de la sinuosité	P. Présence de litière
G. Mesure de pente	Q. Présence d'obstacles à l'écoulement
H. Mesures granulométriques (Wolman sur radier)	R. Érodabilité des berges
I. Cohésion de la couche d'armure	S. Recouvrement du linéaire par la végétation surplombante
J. Évaluation des faciès d'écoulement et de la "végétation" dans le lit mouillé	T. Observations

#### 2.4. Saisie des données

Les fiches terrain sont saisies informatiquement dans un masque de calcul sous Excel puis regroupées dans un tableau synthétique. Offrant une vision globale des données recueillies, le tableau est organisé suivant les sections du protocole de terrain, chaque ligne correspondant à une station. Il permet de dégager un grand nombre de caractéristiques descriptives majoritairement quantitatives. Les cours d'eau inventoriés sont également saisis spatialement à l'aide du logiciel SIG Qgis.

#### 2.5. Analyse statistique des données

Les logiciels R et XLSTAT 2014 sont utilisés pour le traitement descriptif, la représentation graphique (boîtes à moustache, histogrammes, etc.) et l'analyse des différentes variables (Tests de normalité et de comparaison des échantillons, ACP, classification K-means et CAH). L'estimation des surfaces de bassin versant au point aval de chaque station est réalisée à l'aide du logiciel SIG Qgis et de son module GRASS. Elle nécessite un Modèle Numérique de terrain (MNT), illustrant la topographie de site d'étude. Il sert de base au calcul des Bassins Versants (BV). Une seconde couche, nommée "accumulation", visualise les drains de déversement topographique. Le modèle utilisé pour le calcul a été écrit par J. Barry (Responsable SIG, DIR 2, ONEMA).

### 3. Résultats

Deux analyses distinctes sont réalisées. Dans un premier temps, les variables clés sont étudiées à partir du jeu de données constitué des TBV échantillonnés en 2013 et 2014 sans les stations jugées aberrantes en 2013 (AJ\_16, AJ\_32 et AJ\_95 ; les stations ont été nommées par un numéro précédé des lettres "AJ" pour les stations échantillonnées en 2013 et "MB" pour celles de 2014). Une étude complémentaire est ensuite réalisée sur les TBV 2014 à partir des modifications apportées au protocole TBV.

#### 3.1. Résultats obtenus à partir du jeu de données 2013 - 2014

##### *Description des caractéristiques générales des TBV en situation de référence*

Le jeu de données commun entre 2013 et 2014 se compose de 26 variables quantitatives décrivant la morphologie, la granulométrie, les faciès d'écoulement ainsi que le bois en rivière comme obstacle à l'écoulement. Les 55 stations en tête de bassin sont localisées de manière très hétérogène entre 30 m et 1 700 m de leurs sources avec une valeur moyenne de 414 m ( $\pm 97$  m). Les formes des vallées dans lesquelles ces stations sont retrouvées ne sont pas exclusivement prononcées, avec au contraire 25 % des TBV s'écoulant en plaine et seules 6 % dans des vallées très encaissées (inclinaison comprise entre  $30^\circ$  et  $80^\circ$ ). L'hydromorphologie d'un cours d'eau peut se décrire par deux types de variables, des variables de contrôle et des variables de réponse, dont voici les résultats :

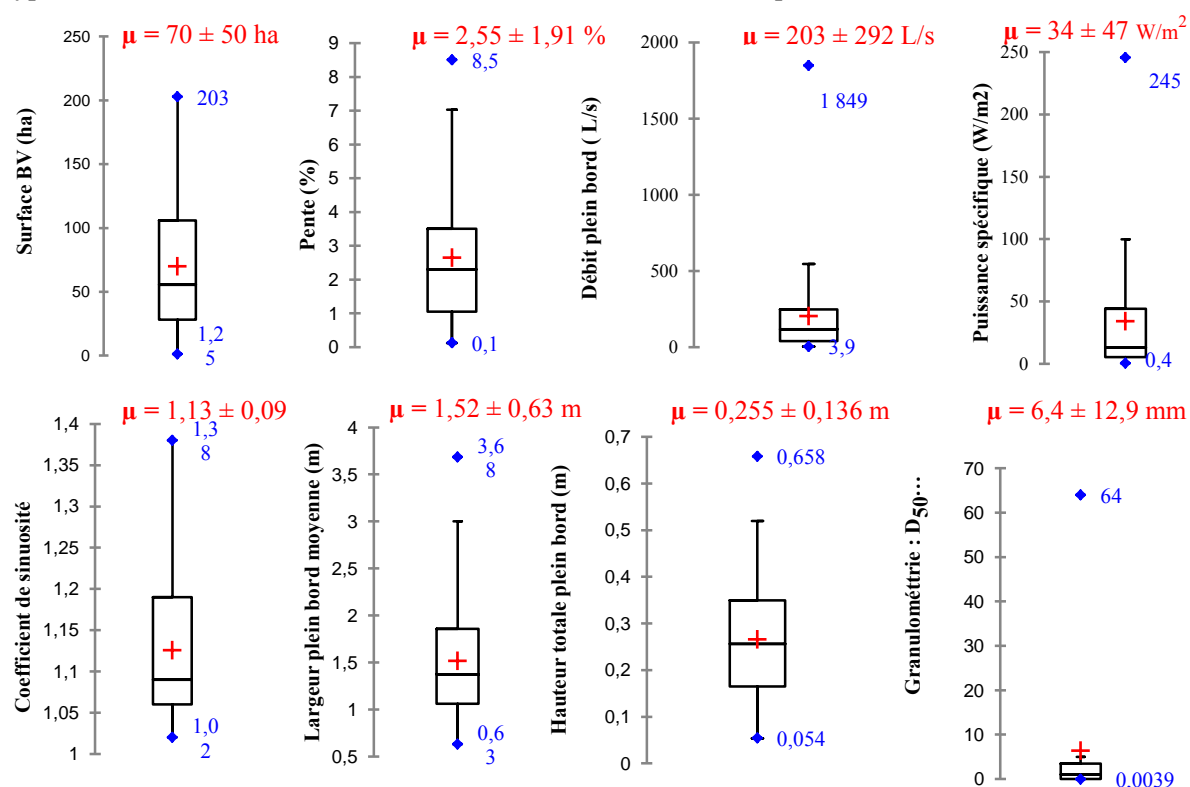


Figure 4 : Boîtes à moustaches des paramètres hydromorphologiques principaux (en rouge,  $\mu$ , moyenne de l'échantillon  $\pm$  l'écart type ; valeurs min et max en bleu).

Les moyennes supérieures aux valeurs médianes traduisent la présence de valeurs extrêmes et donc d'une forte amplitude au sein de chaque variable. Elles restent tout de même proches des valeurs médianes, excepté pour le D<sub>50</sub>. Avec cinq sur huit écarts types supérieurs à la moyenne et des

quantiles peu étalés, la dispersion des distributions est donc limitée pour ces cinq variables : Surface du BV, pente,  $L_{pb}$ ,  $H_{pb}$  et le coefficient de sinuosité. Si des valeurs extrêmes et aberrantes sont identifiables pour le débit plein bord et la puissance (1849 L/s et 245 W.m<sup>2</sup>), les valeurs extrêmes du "D<sub>50</sub> station" correspondent à des valeurs mesurées (Figure 4).

Les TBV échantillonnés présentent des pentes de ligne d'eau comprises entre 0,1 % et 8,5 % et se répartissent équitablement dans les différentes classes de pentes.

La largeur plein bord moyenne ( $L_{pb_{moy}}$ ) et la hauteur totale plein bord moyenne ( $HT_{moy}$ ) sont assemblées en un ratio ( $L_{pb_{moy}} / HT_{moy}$ ) pour évaluer des gabarits de forme d'une section moyenne. Excepté deux sections sortant du lot, les valeurs sont relativement homogènes. La section médiane présente un ratio de forme de 5,5, soit une largeur 5,5 fois plus grande que la hauteur (Figure 5).

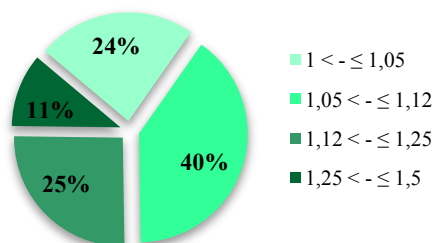


Figure 6 : Classes de sinuosité des TBV 2013 - 2014.

La sinuosité est classée suivant la discrétisation de Jenks permettant ici, d'adapter les données aux classes de sinuosités spécifiques aux petits cours d'eau (Nguyen Van, 2012 ; Figure 6) Avec un coefficient de sinuosité compris entre 1,05 et 1,25, 65 % des stations sont sinueuses.

Afin de fournir des valeurs guides de référence, une station présente en moyenne 12 faciès ( $\pm 7$  ; minimum moyen = 1 et maximum moyen = 26), avec des bois dans le lit mineur présentant un diamètre moyen de 5,9 cm ( $\pm 3,9$  cm ; minimum moyen = 1,24 cm et maximum moyen = 20,3 cm) et une longueur moyenne de 85,9 cm ( $\pm 49,1$  cm ; minimum moyen = 23,00 cm et maximum moyen = 298,42 cm). Ce bois en rivière joue en moyenne 16 rôles ( $\pm 12$  ; minimum moyen = 2 et maximum moyen = 50).

### Analyses en Composantes Principales (ACP)

Seule la variable " $HT_{moy}$ " suit une distribution normale (Test de Shapiro-Wilk, p-value = 0.12 au seuil de 5 %). Les tests non-paramétriques sont donc adaptés pour l'analyse de nos variables.

L'ACP donne la possibilité d'étudier et de visualiser les corrélations entre nos variables quantitatives, et par la suite d'en limiter le nombre. Une première ACP confirme la redondance entre les différentes variables granulométriques, le  $D_{84}$  sur radier, étant la plus explicative, sera conservée. Il en est de même pour la surface des BV par rapport à la distance à la source. Il existe des biais trop importants dans l'estimation par le protocole TBV (2013 et 2014) du coefficient de rugosité de Manning-Strickler qui n'est donc pas utilisé dans l'ACP. Les formes de la section sont synthétisées par le ratio  $L_{pb_{moy}} / HT_{moy}$ . De plus, une variable permettant de traduire la présence de sous-berges (différence entre périmètre et largeur de plein bord), et d'en quantifier l'importance est ajoutée à l'ACP, ce qui augmente le pourcentage explicatif des dimensions une (F1) et deux (F2). Les deux

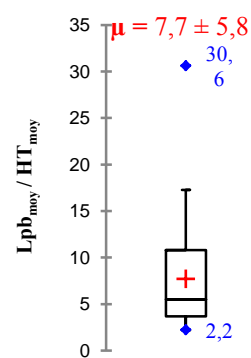


Figure 5 : Boîte à moustache du ratio de forme moyen à plein bord.



dimensions retenues restituent 67,22 % de la variabilité totale de nos variables. F1 oppose en premier lieu le ratio de forme à l'importance des sous-berges, mais également le ratio de forme à la granulométrie des radiers et à la surface du bassin versant. F2 est définie par la relation négative entre le pourcentage de pente et le coefficient de sinuosité. Ces deux variables sont indépendantes de l'axe F1. Le nombre total de faciès, le nombre total de rôle joué par le bois comme obstacle à l'écoulement et la longueur du bois en rivière ont été ajoutés comme variables complémentaires à l'ACP sans participer au pourcentage explicatif. Cette démarche permet de visualiser les corrélations avec les variables explicatives (Figure 7).

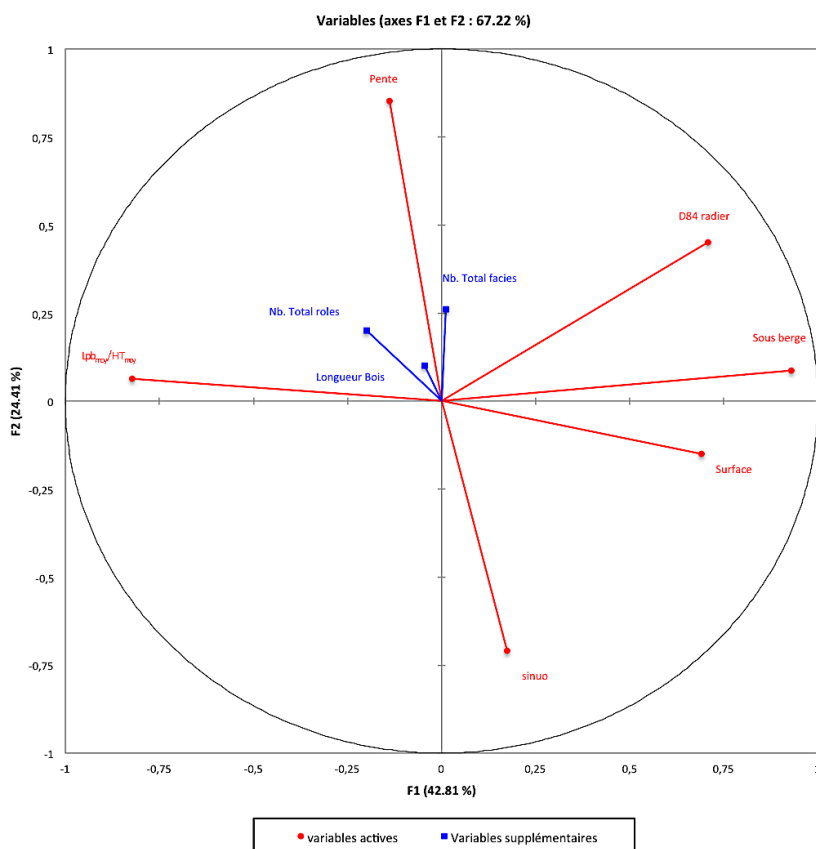


Figure 7 : ACP des variables principales sur le jeu de données 2013 - 2014.

Les variables sélectionnées pour l'ACP sont ensuite réutilisées pour réaliser une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) dans l'objectif d'identifier la présence de groupes potentiels de cours d'eau au sein de ce jeu de données (Figure 8), les propriétés de chaque classe étant déterminées par les barycentres des variables explicatives (Tableau 2).

Tableau 2 : Barycentres des variables explicatives par classes (code couleur en correspondance avec les classes du dendrogramme, Figure 8).

Classe	Surface BV (ha)	Sinuosité	Pente (%)	Lpb <sub>moy</sub> /HT <sub>moy</sub>	D <sub>84</sub> radier
1	61,2	1,06	5,6	6,4	49,7
2	160,3	1,14	2,1	5,5	38,7
3	41,6	1,08	2,0	9,8	8,8
4	39,0	1,28	1,8	8,6	13,4
5	86,6	1,19	1,2	3,5	155,2

La CHA a été réalisée à partir des dissimilarités entre les stations, selon la méthode de Ward, de sorte que l'augmentation de l'inertie intra-classe soit la plus petite possible, afin que les classes restent homogènes. C'est dans cet objectif que la variable "sous-berge" n'a pas été conservée.

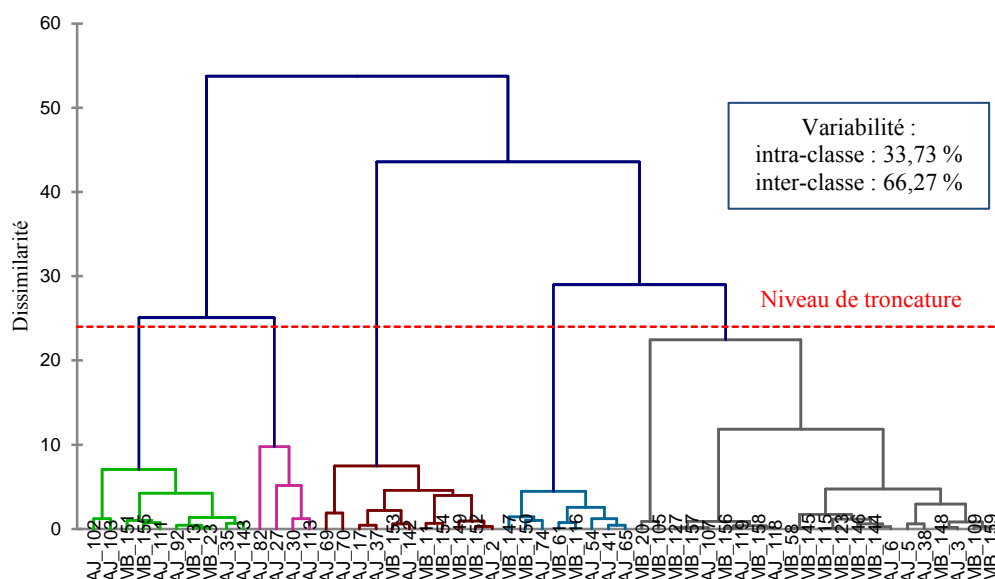


Figure 8 : Dendrogramme d'une Classification Hiérarchique Ascendante à partir des variables principales du jeu de données 2013 – 2014.

### *Analyse descriptive des paramètres complémentaires*

En complément de l'ACP, des corrélations (méthode Spearman) ont permis d'identifier des liens entre certaines variables (Tableau 3, résultats brutes : [Annexe 4](#)) :

Tableau 3 : Principaux résultats des corrélations entre variables (méthode Spearman).

Relations étudiées	Coefficient de corrélation (Spearman)	P-value
Débit et surface BV	0,646	< 0,0001
Sinuosité et pente	-0,348	0,010
D <sub>84</sub> radier et puissance	0,568	< 0,0001
Hauteur totale et surface	0,651	< 0,0001
Sous-berge et surface	0,575	< 0,0001
Sous-berge et hauteur totale	0,876	< 0,0001
Sous-berge et débit	0,646	< 0,0001
Ratio de forme et surface	-0,33	0,014
E Shannon faciès et pente	0,363	0,007
E Shannon faciès et D <sub>84</sub>	0,317	0,019
E. Shannon rôle obstacles et diamètre bois	0,41	0,002
E. Shannon rôle obstacles et longueur bois	0,31	0,02
Longueur bois et L <sub>pb</sub>	0,412	0,02
Longueur bois et nombre total rôles obstacles à l'écoulement	0,629	< 0,0001

Une comparaison entre les variables 2013 et 2014 a été réalisée pour définir si les deux jeux de données appartiennent à la même population statistique, et si la distribution de leurs variables répond à la même loi de distribution. Afin de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaires pour l'utilisation des tests de comparaisons multiples, le test non paramétrique de Kruskal - Wallis (K-W) a été utilisé (échantillons indépendants). Le test de Kolmogorov - Smirnov (K-S) est utilisé pour comparer les distributions de chaque variable et pour déterminer si elles peuvent être considérées comme identiques (Tableau 4, [Annexe 5](#)).

Tableau 4 : Comparaison des variables 2013 et 2014 (tests positifs représentés en vert, niveau de signification = 5 %).

	Surface		Pente		Sinuosité		Lpb		H <sub>pb</sub>		L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub>	
	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S
<b>13 - 2014</b>	0,002	0,029	0,434	0,578	0,761	0,436	0,002	0,013	0,008	0,076	0,413	0,841
	Sous-berge		D <sub>84</sub> radier		E Shannon faciès		Diamètre bois		Longueur bois		Q <sub>pb</sub>	
	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S	K-W	K-S
<b>13 - 2014</b>	0,028	0,107	0,12	0,023	0,001	0,01	0,496	0,488	0,776	0,377	>0,0001	0,002

### 3.2. Résultats obtenus à partir du jeu de données 2014

La différence de protocole entre 2013 et 2014 ne permet pas une comparaison complète des données. Les données recueillies en 2014 ont ainsi fait l'objet d'une étude spécifique sur certains paramètres.

#### *Description des caractéristiques générales des TBV en situation de référence*

##### Gabarit du lit à plein bord

Toujours dans le but d'obtenir des valeurs guides du lit à plein bord, les valeurs minimum, maximum et moyenne sont identifiées (Tableau 5a). La répartition des stations par classe de ratio de forme révèle cinq groupes de stations (Tableau 5b, Annexe 6) :

Tableau 5 : Valeurs guides moyennes de la largeur, de la hauteur plein bord et du ratio de forme (a) Répartition par classe du ratio de forme (b).

(a)	L <sub>pb</sub> (m)	H <sub>pb</sub> (m)	L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub>	(b) Répartition par classes de ratio de forme	
<b>Minimum</b>	0,75	0,054	2,2	L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub> < 3	14 %
<b>Maximum</b>	3,68	0,500	30,6	3 < L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub> ≤ 5	25 %
<b>Moyenne</b>	1,35 ± 0,25 m	0,226 ± 0,048 m	8,5 ± 2,7	5 < L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub> ≤ 10	36 %
				10 < L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub> ≤ 20	18 %
				20 < L <sub>pb</sub> / H <sub>pb</sub>	7 %

Un gabarit du lit moyen est obtenu à partir des points de mesure moyens le long de la largeur plein bord de chaque transect (Figure 9). 86 à 89 % des TBV ont des sous-berges. Cette estimation est possible par la différence entre la largeur plein bord moyenne et le périmètre associé. Cette appréciation se vérifie sur le terrain puisque cette différence est en moyenne 2,8 fois plus élevée (± 1,0) pour les TBV avec sous-berge que sans sous-berge.

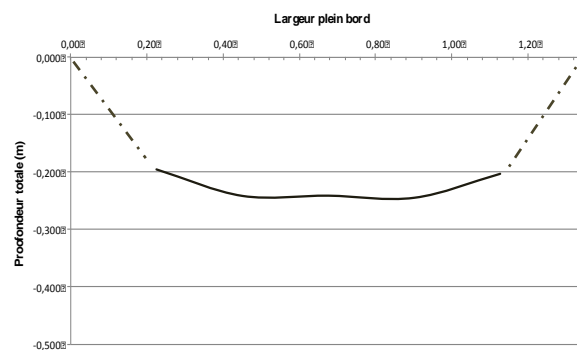


Figure 9 : Profil en travers d'une section moyenne (berges fictives en pointillé).

##### Analyse granulométrique :

Quatre stations ne présentent pas de radier (14 %). Suivant la méthode Wolman, la description des classes granulométriques est segmentée suivant les pourcentages (16, 50 et 84 %) de la fréquence relative cumulée. Il ressort de l'analyse du D<sub>50</sub> une répartition suivant 3 grandes classes granulométriques : 11 % des TBV pour la classe "Sable", 47 % pour la classe "Graviers" et 7 % pour

la classe "Caillou Fin". La taille granulométrique moyenne maximale retrouvée sur radier correspond à la classe "Pierre Fine" soit 70 mm (Figure 10).

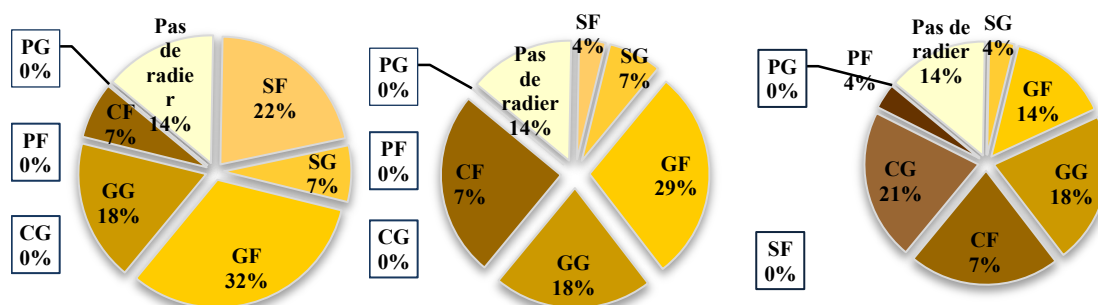


Figure 10 : Répartition moyenne par classes granulométriques des D<sub>16</sub> (a), D<sub>50</sub> (b), et D<sub>84</sub> (c) sur radier (d'après l'échelle granulométrique de Wentworth modifiée ; V = Vase ; A = Argile ; L = Limon ; SF = Sable Fin ; SG = Sable Grossier ; GF = Gravier Fin ; GG = Gravier Grossier ; CF = Caillou Fin ; CG = Caillou Grossier ; PF = Pierre Fine ; PG = Pierre Grossière)

Le protocole prévoit une appréciation de la cohésion de la couche d'armure. En ne tenant pas compte des cours d'eau sans radier, 33 % d'entre eux ont une couche d'armure faiblement cohésive, 17 % moyennement cohésive et 50 % fortement cohésive (Figure 11).

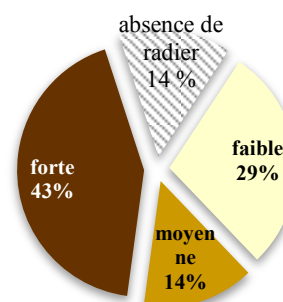


Figure 11 : Appréciation de la cohésion de la couche d'armure

L'analyse granulométrique stationnelle du D<sub>50</sub> (tous transects confondus) révèle la présence de cinq groupes : 18 % des TBV sont de classe "Argile", 29 % de classe "Limon", 25 % de classe "Sable", 21 % de classe "Gravier" et 7 % de classe "Caillou Fin" (Annexe 7).

### Les faciès d'écoulement

Le nombre total moyen de faciès d'écoulement sur la station s'étend de 2 à 26 pour une moyenne de 14 faciès ( $\pm 7$ , Figure 12). Une station peut être caractérisée par une succession moyenne des faciès d'écoulement, en présence / absence (Figure 13a), et en longueurs cumulées (Figure 13b).

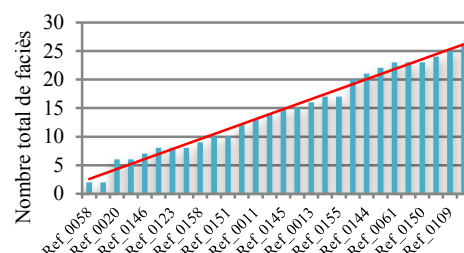


Figure 12 : Nombre total de faciès d'écoulement par station.

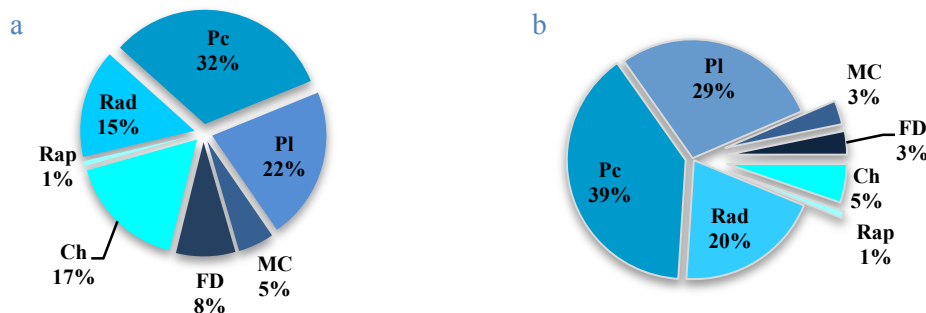


Figure 13 : Succession moyenne des faciès d'écoulement en présence / absence (a) et proportion en longueurs cumulées (b) pour les 28 stations de référence prospectées en 2014.

Dans un objectif de restauration hydromorphologique, les valeurs guides des longueurs moyennes de radiers sont comprises entre 2,84 et 4,50 m pour une moyenne de 3,56 m ( $\pm 0,81$  m).

L'indice de diversité de Shannon appliqué sur la présence / absence de faciès d'écoulement permet de lier le nombre total de faciès avec le nombre de faciès différents (richesse). Les résultats permettent de distinguer ou d'identifier des cours d'eau peu diversifiés ( $E < 0,5$ ) des cours d'eau plus diversifiés ( $E > 0,5$ ) en termes de faciès d'écoulement. Les cours d'eau plus diversifiés représentent 86% des stations étudiées.

### Les éléments végétaux du lit mouillé

Les éléments végétaux sont évalués dans le lit mouillé par faciès en terme de présence / absence et de recouvrement. Cinq types d'éléments végétaux sont recensés par le protocole : les Éléments Organiques Grossiers (EOG), les Bryophytes (B), les Algues (A), les Spermaphytes émergées (Sé) et les Spermaphytes immergées (Si). En moyenne 19 % des faciès ne présentent pas de végétation, sachant que 18 TBV ont 100 % de leurs faciès avec un recouvrement du lit mouillé par des éléments végétaux. De plus, 50 % des TBV ont des EOG sur au moins 80% de leur faciès, dont

43% d'entre eux sur la totalité des faciès. Une description de la composition moyenne en présence / absence souligne la dominance des EOG qui est retrouvée en moyenne dans 59 % des faciès d'écoulement, par rapport aux autres types de végétation (Figure 14a). Lorsqu'une

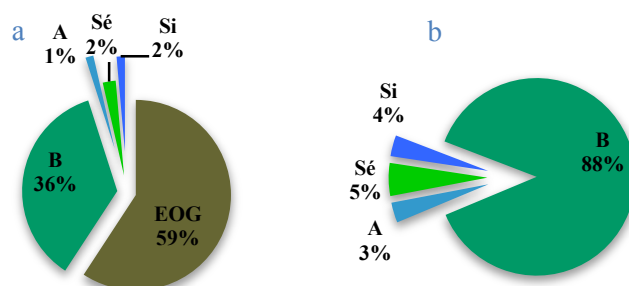


Figure 14 : Composition moyenne d'élément végétaux (a) et diversité végétale moyenne (b) dans le lit mouillé.

station a dans son lit mouillé des EOG ainsi que d'autres types de végétation (B, A, Sé ou Si), il y a en moyenne 1,7 fois plus de faciès avec des EOG que de faciès avec d'autres types de végétation sur la station. En se focalisant sur la végétation vivante, la classe des Bryophytes écrase la concurrence des autres végétaux. Elle représente 88 % de la diversité végétale vivante (Figure 14b).

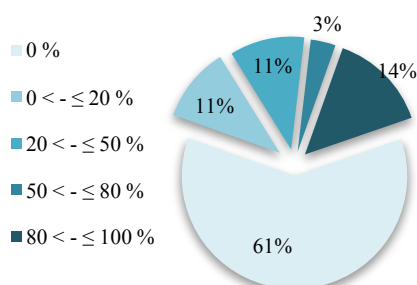


Figure 15 : Pourcentage moyen de Bryophytes par station.

En moyenne 21 % des faciès ont un recouvrement quelconque en Bryophytes sachant que 61 % des TBV n'ont pas de Bryophytes dans leur lit mouillé (Figure 15). En ne considérant que les TBV avec Bryophytes, le pourcentage de faciès avec des Bryophytes est de 54 %.

Absents des faciès lotiques, les Algues ont un recouvrement très important lorsqu'elles sont présentes sur un faciès, mais très faible à l'échelle de la station, à la différence des EOG qui eux, ont un recouvrement constant sur la station (entre 5 et 25 %).

### Les obstacles à l'écoulement

Le protocole TBV 2014 permet de prendre en considération tous types d'obstacles "naturels" ayant un impact sur l'écoulement : bois en rivière (Bois), végétation dans le lit mouillé (Vég.), granulométrie quelconque (Roche). Sur la base d'un obstacle tous les 3 m, 86 % des stations ont un nombre total d'obstacles important dans leur lit mouillé, impactant directement l'écoulement (Figure 16a). La composition moyenne des obstacles à l'écoulement pour une station est dominée par le bois en rivière (58 %) mais comporte également de la végétation (20 %), des patches de MOPG (17 %) et des roches (5 %, Figure 16b).

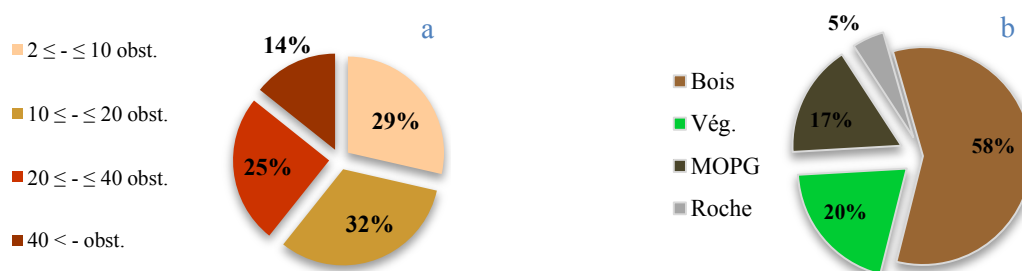


Figure 16 : Nombre total moyen d'obstacles à l'écoulement (a) et composition moyenne des obstacles à l'écoulement (b).

## 4. Discussion

Les résultats portent sur un lot de 55 stations, dont 75 % proviennent de l'hydroécocorégion de niveau 2 "Massif Armoricaire Ouest", ce qui limite l'interprétation régionalisée.

### 4.1. Typologie des TBV armoricains en situation de référence

#### *Description de la morphologie et du fonctionnement hydromorphologique*

##### Caractéristiques générales

Dans notre jeu de données, 24 % des stations présentent une pente inférieure à 1%. Malgré la définition d'une TBV du SDAGE Loire-Bretagne, ces stations correspondent à des TBV armoricains en situation de référence. Les paramètres généraux, malgré certaines valeurs extrêmes, présentent une certaine homogénéité autour de leur valeur médiane. En comparant ces résultats aux valeurs 2013, nous constatons une diminution de la variabilité des données (écarts types plus faibles). Les tests statistiques de comparaison renforcent ce constat pour la pente, la sinuosité, le ratio de forme, le diamètre et la longueur moyenne des bois dans le lit du cours d'eau. Ne prétendant pas à l'exhaustivité, une typologie caractéristique des TBV armoricains se précise.

Les différences obtenues pour les paramètres "D<sub>84</sub> sur radier" et "sous-berge" sont dues aux valeurs extrêmes. Pour l'indice d'équitabilité de Shannon sur la diversité des faciès d'écoulement ("E Shannon faciès"), la différence entre les données 2013 et 2014 conforte l'idée de subjectivité dans la définition des faciès d'écoulement à cette échelle de cours d'eau. Les largeurs plein bord échantillonnées en 2014, inférieures à celles de 2013 (p-value = 0,84 au risque  $\alpha$  de 0,05) résultent du non-respect de l'ordination de Strahler de rang 1 pour sélectionner les sites en 2013. Le même constat



peut être fait pour les surfaces et les débits plein bord calculés, plus élevés en 2013 qu'en 2014 (p-value = 1 au risque  $\alpha$  de 0,05).

Des difficultés d'évaluation des débits plein bord ont été rencontrées en 2013, ce qui nous a amenés à proposer un module de mesure du débit dans le protocole TBV 2014. Cependant les hauteurs d'eau n'étant pas à plein bord, la comparaison avec les débits calculés à partir des dimensions du cours d'eau ne sont pas valides. Une étude à part entière apparaît nécessaire. Le protocole CARHYCE éprouve les mêmes difficultés dans l'estimation des débits de plein bord à cause, notamment de l'estimation du coefficient de rugosité (Gob et coll., 2014).

Le périmètre plein bord est un paramètre utilisé pour le calcul théorique du débit de plein bord (à l'aide de la formule de Manning – Strickler) et est mesuré sur le terrain. Cependant, le protocole de mesure des hauteurs d'eau le long d'un transect nous permet de l'estimer par un calcul géométrique. Une marge d'erreur médiane absolue de 108 % en moyenne est observée lorsque la section présente une sous-berge, soit un périmètre théorique environ 2 fois plus petit que la réalité. La mesure du périmètre de plein bord reste donc nécessaire pour l'estimation du débit.

La mesure de la différence entre le périmètre et la largeur à plein bord, associée à l'observation visuelle de la présence / absence de sous-berges, confirme l'intérêt d'utiliser cette différence comme indicateur quantitatif de l'importance des sous-berges sur une station.

#### Corrélations entre variables : illustration du fonctionnement hydromorphologique

La relation entre la pente et la sinuosité est admise scientifiquement (Malavoi et Bravard, 2010). Plus le pourcentage de pente est important plus le cours d'eau tend vers la rectitude.

Le  $D_{84}$  sur radier traduit la charge sédimentaire maximale transportée lors des épisodes de crues. La puissance spécifique d'un cours d'eau illustre sa capacité morphogène, elle est donc corrélée positivement au  $D_{84}$  sur radier.

La corrélation entre le débit plein bord calculé (Manning-Strickler) et la surface du bassin versant est élevée et significative au seuil de 1 %. Cependant même s'il existe une tendance entre ces deux paramètres, une forte variabilité persiste dans la relation. Les régressions linéaires et les régressions non paramétriques ne permettent pas d'expliquer la variabilité des débits de plein bord calculés par l'augmentation de la surface de bassin versant. Les données présentent une trop forte dispersion pour prédire des valeurs de débit à partir d'une surface de bassin versant. Ce phénomène peut s'expliquer par l'échelle concernée (valeur médiane = 55,6 ha) mais pas seulement puisqu'en se référant au guide "Éléments d'hydromorphologie fluviale" (Malavoi et Bravard, 2010), même pour des données régionalisées, la variabilité est trop élevée pour exprimer un lien de causalité.

Une corrélation négative apparaît entre la surface du BV et la forme du gabarit des cours d'eau. Concernant les TBV, cette relation s'explique par la corrélation positive entre hauteur de plein bord et surface du BV. Les forts débits de par la très bonne cohésion des berges (sédiments fins cohésifs, végétalisation) creusent préférentiellement les TBV armoricains en profondeur. Le même constat a été fait en 2010 par Aurélia Mathieu. Cet état est confirmé par les relations positives entre sous-berges et hauteur de plein bord et sous-berges et débit plein bord (plus sous-berges et puissance spécifique). Les

événements morphogènes correspondent à une augmentation du débit qui en incisant le lit (plus en profondeur qu'en largeur) favorise la formation de sous-berges dans les zones plus sensibles à l'érosion. L'ACP confirme le caractère déterminant des sous-berges dans la typologie des TBV armoricains de référence.

L'indice d'équitabilité de Shannon appliqué aux faciès d'écoulement est un indicateur de leur diversité à l'échelle stationnelle. La corrélation avec la pente et avec le  $D_{84}$  sur radier souligne simplement le rôle de la vitesse d'écoulement nécessaire à l'obtention d'une succession de faciès diversifiés. Les dimensions des bois morts dans le cours d'eau (longueur et largeur) sont directement corrélées avec la diversité des rôles qu'ils proposent en tant qu'obstacle vis-à-vis de l'écoulement.

#### Typologie par classes

L'analyse de classification (CHA) différencie cinq groupes de stations suivant les valeurs de surface de bassin versant, de pente, de sinuosité, de ratio de forme, et de taille granulométrique. Elle précise le rôle central des différentes variables sélectionnées par l'ACP, pour expliquer la variabilité interstationnelle. L'étape suivante serait de réaliser une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) à partir des groupes obtenus par la CHA (résultats non encore exploités) et d'y ajouter d'autres variables explicatives (tels que la géologie, la nature locale des sols, l'occupation des terrains à proximité des cours d'eau, le type d'habitat floristique, les relations avec les zones humides, le bassin hydrogéologique, etc.) de manière à affiner cette classification.

#### Composition granulométrique

Les TBV sont des systèmes dominés granulométriquement par des particules sédimentaires de tailles inférieures à 0,0625 mm (vase et limon,  $D_{50}$  station). La granulométrie de leurs radiers est majoritairement représentée par les graviers ( $D_{16}$ ,  $D_{50}$  et  $D_{84}$ ). Ces pourcentages sont des moyennes toutes classes confondues de TBV. Ils évoluent donc en fonction des spécificités locales (géologie, surface, pente, occupation des sols, ripisylve) propres à chaque groupe de cours d'eau.

La composition granulométrique de leurs radiers rappelle l'importance de la zone hyporhéique, composante essentielle à ne pas négliger dans les projets de restauration hydromorphologique (Datry et coll., 2008). Les échanges avec la zone hyporhéique sont facilités par la présence d'une couche d'armure qui joue un rôle protecteur de la faune benthique sous-jacente. Retrouvée dans 86 % des TBV de référence, sa fonction est primordiale pour limiter les phénomènes d'incision.

#### La matière organique un élément moteur des systèmes en tête de bassin versant

Les cours d'eau de tête de bassin versant jouent un rôle important dans la régulation de l'exportation des nutriments minéraux vers les écosystèmes aval. L'échelle restreinte de ces milieux impose une surface de contact importante entre l'eau et les éléments terrestres (sédiments, MOPG). Le ratio surface / volume est élevé ce qui favorise leur rétention et leur décomposition par les processus biogéochimiques. La matière organique joue un rôle de filtration des sédiments, ne laissant majoritairement que des particules fines. Ce constat est un lien avec les classes granulométriques observées sur les stations étudiées. La forte proportion de matière organique dans le lit mouillé de ces

cours d'eau confirme le fait que dans les climats tempérés, ces cours d'eau privilégient la décomposition de la matière organique à la productivité primaire (Lecerf, 2005 ; Baudoin, 2007).

#### 4.2. Préconisations techniques à destination des gestionnaires des milieux aquatiques

##### *Restauration hydromorphologique*

L'alternance des faciès d'écoulement est très diversifiée, mais la représentation classiquement admise d'une succession "radier–mouille" est peu adaptée à nos observations de terrains. La réalité à l'échelle d'un TBV (rang 1) n'est pas la même qu'à l'échelle d'un cours d'eau de rangs supérieurs (Brooks, 1988). Il est donc recommandé de diversifier le profil en long pour recréer une alternance diversifiée de faciès d'écoulement. De la même manière il est important d'adapter les ratios de forme structurant les profils en travers des cours d'eau, dès la phase travaux de la restauration et de les diversifier au vu des faibles puissances spécifiques des TBV armoricains (USDA, 2007).

La diversité des obstacles à l'écoulement (tels que les roches, les patches de matière organique, la végétation, les bois morts) et leurs fortes densités dans le lit mouillé participent à l'amélioration de la rétention des sédiments et de la matière organique. Ainsi il est essentiel de s'assurer au maintien d'une rugosité naturelle lors de la restauration des cours d'eau (Muotka et Laasonen, 2002). L'importance des successions de faciès ainsi que la diversité des faciès rencontrés favorisent également ces processus. Ces deux paramètres "Faciès" et "Obstacles à l'écoulement", associés aux ruptures de pente et aux échanges avec le milieu hyporhéique participent aux caractéristiques géomorphologiques des systèmes en tête de bassin versant qui offrent des zones de déposition et de stockage pour les sédiments (Gomi et coll., 2005).

##### *Entretien du corridor rivulaire*

L'évaluation des obstacles à l'écoulement dans le cours d'eau permet de mettre en évidence que le bois en rivière n'est pas la seule source d'obstacles jouant un rôle sur la modification de l'écoulement. Certains types de cours d'eau sans ripisylve arborée (p. ex. les cariçaies) ne présentent aucun bois mort dans leur lit, mais par contre disposent de pieds ou de touradons d'herbacées poussant directement dans le lit mouillé qui ont une influence directe sur l'écoulement. Il en est de même pour les fortes granulométries des cours d'eau plus puissants.

Le bois mort occupe tout de même la plus grosse part des obstacles à l'écoulement. Le fait que le nombre de rôles et leur diversité augmentent avec la longueur du bois mort dans le lit mouillé conforte l'idée que la ripisylve doit être à un stade suffisamment mature pour obtenir une hydromorphologie plus diversifiée (Klaar et coll., 2011). Il serait donc judicieux de tendre vers des modes de gestion allégés de l'entretien de la ripisylve.

##### *Evaluation de ces milieux*

Ce rapport met en évidence la nécessité d'étudier les TBV à l'aide de protocoles d'étude de l'hydromorphologie adaptés (Fritz et coll., 2009 ; Mathieu, 2010 ; Jan, 2013).

Un guide d'identification des Bryophytes (DIREN, 2005) met en exergue leurs rôles comme indicateur de la stabilité morphologique du lit et leur répartition spécifique suivant les écoulements

(vitesse, intermittence) pouvant servir à l'évaluation des TBV. Nous constatons que 61 % des TBV armoricains en situation de référence ne contiennent pas de Bryophytes dans leur lit mouillé, pourcentage qui augmente de 11 % en élargissant aux TBV n'ayant que moins de 20 % en moyenne de leur faciès où la présence de Bryophytes est détectée (soit 72 % des TBV), et augmente encore de 11 % en élargissant le seuil à 50 % (soit 83 % des TBV). L'utilisation des Bryophytes comme outil d'évaluation des TBV pourrait être remise en cause dans le cas des TBV armoricains de référence. Toutefois, en considérant seulement les TBV dont la présence de bryophytes est détectée (39 % des TBV) le pourcentage moyen de faciès d'écoulement avec des Bryophytes est tout de même de 54 %. Une typologie des TBV en fonction de la présence / absence de Bryophytes pourrait éventuellement être envisagée si les variables contrôlant leur présence se vérifiaient.

## **5. Conclusion**

---

Bien qu'il reçoive des écoulements, qu'il transporte des sédiments, un cours d'eau est un système stable en constant "équilibre dynamique". Quand des changements viennent perturber cet équilibre, le cours d'eau devient instable et commence à s'ajuster vers un nouvel équilibre. Mais l'échelle anthropique et géomorphologique n'est pas la même. C'est une "longue" phase de transition qui s'amorce pendant laquelle les habitats et la qualité de l'eau se trouvent altérés. La restauration écologique des cours d'eau est donc nécessaire pour retrouver leur fonctionnement écologique.

Cette étude a permis de préciser et d'affiner les valeurs guides en termes de dimensionnement des opérations de restauration hydromorphologique. Toutefois, la forte variabilité des caractéristiques hydromorphologiques entre les différentes stations souligne l'importance fondamentale de réaliser des études sur les conditions de référence adaptées aux cours d'eau. Des variables, de contrôle et de réponse, discriminant des groupes de cours d'eau, sont identifiées et ouvrent des perspectives sur l'élaboration d'une typologie par classes de TBV armoricains.

La démarche de cette étude se justifie par la rareté des cours d'eau en situation de référence en tête de bassin versant. De plus, l'idée couramment admise qu'une restauration hydromorphologique nécessite un diagnostic des conditions de référence sur un cours d'eau similaire, est faussée par la difficulté à localiser des tronçons indemnes de pressions anthropiques.

Tendre vers la définition d'un TBV en situation de référence permettra par la suite de comparer ces valeurs guides avec des cours d'eau dont l'hydromorphologie est altérée. Un module d'évaluation de ces altérations doit être prochainement mis en place. L'objectif final étant de pouvoir, avec le même protocole de terrain, discriminer les cours d'eau altérés, des cours d'eau en bon état hydromorphologique. Cela tendrait alors vers un indice de qualité stationnelle.

## 6. Références bibliographiques

- AELB, 2010**, SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015, 252 pages.
- AELB, 2013**, Etat des lieux du bassin Loire-Bretagne 2013, 272 pages.
- ALEXANDER R.B., BOYER E.W., SMITH R.A., SCHWARZ G.E. & MOORE R.B., 2007**, The role of headwater streams in downstream water quality, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **43** (1), 41-59.
- BAUDOIN J.M., 2007**, Biodiversité et fonctionnement de cours d'eau forestiers de tête de bassin : Effet de l'acidification anthropique et d'une restauration, Thèse Discipline Ecologie, Spécialité Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, Université Paul Verlaine de Metz, 221 pages.
- BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M. & MAY C.-L., 2005**, Geomorphology of steepheadwaters : the transition from hillslopes to channels, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **41** (4), 835-851.
- BOUDOT GRIMAUD T., 2013**, Restauration hydromorphologique : les techniques émergentes en Bretagne, Pays de Loire, Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 30 pages.
- BROOKES A., 1988**, Rivers channelization, *Perspectives for environmental management, Wiley interscience*, 326 pages.
- CHOUCARD P., 2011**, Elaboration d'une méthodologie d'inventaire cartographique et de hiérarchisation des têtes de bassin versant dans le contexte armoricain, Application au bassin versant du Couesnon, Rapport de stage, SAGE Couesnon/Université de Rennes 1, 30 pages.
- DATRY T., DOLE-OLIVIER M.J., MARMONIER P., CLARET C., PERRIN J.F., LAFONT M. & BREIL P., 2008**, La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau, *Ingénieries - E A T*, **54**, 16 pages.
- 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.
- FRITZ K.M., GLIME J.M., HRIBLIJAN J., GREENWOOD J.L., 2009**, Can bryophytes be used to characterize hydrologic permanence in forested headwater streams?, *Ecological indicators*, **9**, 681-692.
- GOB F., BILODEAU C., THOMMERET N., BELLIARD J., ALBERTM.B., TAMISIER V., BAUDOIN J.M., KREUTZENBERGER K., 2014**, Un outil de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau pour l'application de la DCE en France (CARHYCE), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **1**, p. 57-72.
- GOMI T., SIDLE R.-C. & RICHARDSON J.-S., 2002**, Understanding processes and downstream linkages in headwater systems, *BioScience*, **52**, 905-916.
- JAN, 2013**, Etude du fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau en tête de bassin versant sur le Massif Armorica, Rapport de stage de Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 40 pages.
- JANISCH J.E., FOSTER A.D., EHINGER W.J., 2011**, Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA, *Forest Ecology and Management*, **261**, 1265-1274.
- KLAAR M.J., HILL D.F., MADDOCK I. & MILNER A.M., 2011**, Interactions between instream wood and hydrogeomorphic development within recently deglaciated streams in Glacier Bay National Park, Alaska, *Geomorphology*, **130**, 208-220.
- LE BIHAN M., 2009**, L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57), Rapport de stage, ONEMA/Université Paul Verlaine Metz, 49 pages.
- LE BIHAN, 2012**, Réunion d'information sur les têtes de bassin versant : connaissance, méthodes, outils et perspectives, Support de présentation, 185 pages.
- LECERF, 2005**, Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau en tête de bassin versant, Thèse Discipline Ecologie fonctionnelle, Université Toulouse III – Paul Sabatier, UFR Sciences et vie de la terre, 159 pages.
- LHERITIER N., 2012**, Les têtes de bassin versant : de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins, Thèse Discipline Géographie, Université de Limoges, 440 pages.
- LIFE, 2009**, Colloque de restitution du Programme LIFE « Ruisseaux de têtes de bassin et faune patrimoniale associées », Dijon, 9-11 juin 2009.
- LOWE W.H. & LIKENS G.E., 2005**, Moving Headwater Streams to the Head of the Class, *Bioscience*, **55**: 196.
- MACDONALD L.H. & COE D., 2007**, Influence of headwater streams on downstream reaches in forested areas. *Forest Science*. **53** (2), 148-164.
- MALAVOI J.R. & BRAVARD J.P., 2010**, Eléments d'hydromorphologie fluviale, ONEMA, 224 pages.
- MATHIEU, 2010**, Quels pré-requis pour la restauration des cours d'eau enterrés en tête de bassin ? Rapport de stage, ONEMA/Université de Rennes 1, 36 pages.
- MEYER J.L., STRAYER D.L., WALLACE J.B., EGGERT S.L., HELFMAN G.S. & LEONARD N.E., 2007**, The contribution of headwaters streams to biodiversity in river networks, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, **43** (1), 86-103.
- MEYER J.L. & WALLACE J.B., 2001**, Lost Linkages and Lotic Ecology: Rediscovering Small Streams, *Ecology : Achievement and Challenge*, 295-317.
- 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. & RAINS M.C., 2007**, Hydrological connectivity between headwater streams and downstream waters : how science can inform policy, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **43** (1), 118-133.
- NGUYEN VAN R., 2012**, Les altérations physiques en têtes de bassin versant sur les régions Bretagne-Pays de la Loire, A la recherche d' « aqua incognita », Rapport de stage, ONEMA DIR2/ UNIVERSITE PARIS DIDEROT, 97pages.
- SPITONI, 2012**, Caractérisation géospatiale des pressions anthropiques physiques qui s'exercent sur les cours d'eau de tête de bassin versant, Rapport de stage, ONEMA/Université de Lorraine (LIEBE), 32 pages.
- 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.
- SHREVE R.W., 1969**, Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks, *Journal of Geology*, **77**, 397-414.
- STRAHLER A.N., 1952**, Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Bulletin of the Geological Society of America*, **63**: 1117-1142.
- USDA, 2007**, Stream Restoration Design (National Engineering Handbook 654), disponible sur [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/water/manage/restoration/?cid=st\\_elprdb1044707](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/water/manage/restoration/?cid=st_elprdb1044707).
- UWE S., 2013**, Le Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH-CE), Evaluation de la pertinence de l'outil syrah-ce sur les têtes de bassin versant, Rapport de stage, ONEMA/Université de Lorraine, 50 pages.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R. & CUSHING C.E., 1980**, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**, 103-137.
- WASSON J.G., MALAVOI J.R., MARIDET L., SOUCHON Y. & PAULIN L., 1998**, Impacts écologiques de la chenalisation des rivières, Editions Cemagref, 14, 158 page.

## Résumé

---

Les objectifs généraux de non-dégradation et d'atteinte du "bon état" des cours d'eau définis par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) incitent les gestionnaires des milieux aquatiques et de la ressource en eau à diriger leurs actions vers l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau ainsi que la mise en œuvre d'opérations de restauration de ces milieux. Le rôle fondamental que jouent les cours d'eau de tête de bassin versant (TBV) dans les fonctionnalités écologiques du réseau hydrographique rend l'étude de ses milieux indispensable. Leurs caractéristiques singulières nécessitent d'adapter les outils d'évaluation et de gestion à leurs spécificités de fonctionnement. Cette étude propose, par une évaluation hydromorphologique adaptée, de quantifier les différentes variables de contrôle (surface de bassin versant, forme de vallée, débit, charge sédimentaire, ripisylve, etc.) et de réponse (sinuosité, ratio de forme, faciès d'écoulement, obstacles à l'écoulement, etc.) pour l'amélioration des connaissances de leur fonctionnement et l'obtention de valeurs guides à destination des gestionnaires des milieux aquatiques pour préserver ces milieux riches en services écosystémiques, mais aussi très vulnérables.

Mots clés : DCE, Cours d'eau, hydromorphologie, restauration, tête de bassin versant, condition de référence, typologie

## Abstract

---

The Water Framework Directive (WFD) dictates that 'hydromorphological condition' of water bodies should be capable of supporting 'Good Ecological Status'. This requirement encourages the aquatic resources managers to improve their hydromorphological headwater knowledge and the implementation of restore operations in these environments. The fundamental role played by headwater in ecological functions of the river system makes essential the study of its environments. Their singular characteristics need to adapt assessment and management tools to their specific functioning. This study suggests making a headwater hydromorphological assessment adapted to quantify the different control variables (watershed area, shape of valley, flow, sediment load, riparian vegetation, etc.) and response variables (sinuosity, shape ratio, facies flow, flow obstacles, etc.) to improve functioning knowledge and to obtain guide values for aquatic environments manager. This will be use to preserve headwater habitats, with high ecosystem services, although they are a very vulnerable ecosystems.

Keywords: WFD, streams, hydromorphology, restoration, headwater, reference conditions, typology



## Annexe 1. Protocole de terrain version 2014

---

Testé sur 28 cours d'eau de référence en 2014, pour un rendement optimal, le protocole est prévu pour se faire à 3 personnes qualifiés (ex : agent technique de SD) en 1 h 30 à 2 h 00 de terrain pour un site présélectionné.

Le matériel nécessaire comprend :

✓ Un décamètre de 50 m
✓ Un décamètre de 10 m
✓ Deux règles rigides de 50 cm (précision millimétrique)
✓ Un jeu de piquets avec son maillet
✓ Un télémètre stadimétrique avec trépied et mire de géomètre
✓ Un niveau
✓ Un débitmètre ADV / ou un courantomètre / ou à défaut un seau de volume connu
✓ Un GPS
✓ Un appareil photo
✓ Du matériel de prise de notes (fiches terrain)
✓ Un Guide de description des Habitats de zones humides
✓ Du matériel de désinfection



**J. Evaluation des faciès d'écoulement de l'aval vers l'amont (sur la station de 30m, si présence d'écoulements)**

En partant du 0 aval, jusqu'aux 30 mètres amont, noter les bornes du décimètre pour chaque faciès rencontré.  
 Relever la **succession des faciès** en tenant compte des variations, à l'échelle du cours d'eau, des vitesses d'écoulement et des profondeurs en rapport.

Type de faciès <sup>1</sup> =											
Bornes décimétriques = (m)											
P = (si fosse ; cm)											
H = (si chute ; cm)											
"Végétation" <sup>2</sup> (lit mouillé) Type de "végétation" :											
Classe de recouvrement (de 1 à 6) :											
Type de faciès <sup>1</sup> =											
Bornes décimétriques = (m)											
P = (si fosse ; cm)											
H = (si chute ; cm)											
"Végétation" <sup>2</sup> (lit mouillé) Type de "végétation" :											
Classe de recouvrement (de 1 à 6) :											
Type de faciès <sup>1</sup> =											
Bornes décimétriques = (m)											
P = (si fosse ; cm)											
H = (si chute ; cm)											
"Végétation" <sup>2</sup> (lit mouillé) Type de "végétation" :											
Classe de recouvrement (de 1 à 6) :											

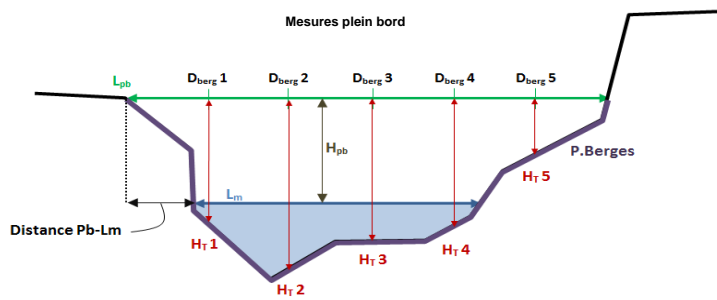
**Type de faciès :** **FD** = Fosse de Dissipation (en pied de chute) / **MC** = Mouille de concavité / **PI** = plat lentique (V < 30cm/s) / **Pc** = plat courant (V > 30cm/s, pente douce) / **Rad** = Radier (V>30cm/s, pente moyenne) / **Rap** = Rapide (V>30cm/s, pente forte) / **Ch** = Chute (rupture de pente, avec écoulement vertical) / **P** = profondeur / **H** = hauteur

<sup>2</sup>"Végétation" : noter le type de végétation : **A** = Algues / **B** = Bryophytes / **Sé** = Spermaphytes émergents / **Si** = Spermaphytes immergés / **EOG** = Éléments organiques grossiers (litières, branchages, racines)  
 et la classe de recouvrement (r = R ≤ 1 % / 1 = 1 < R < 5 % / 2 = 5 ≤ R < 25 % / 3 = 25 ≤ R < 50 % / 4 = 50 ≤ R < 75 % / 5 = 75 ≤ R)

**K. Mesures du gabarit du lit à plein bord** (station L = 30 m / 6 transects, tous les 6 mètres)

Unité : m

Sur chaque transect, 5 mesures tous les 1/6 de Lpb



**Lpb** : Largeur plein bord / **Dberg** : distance à la berge / **Hpb** : Hauteur plein bord (ligne d'eau - ligne pb) / **Lm** : Largeur lit mouillé / **HT** : Hauteur Totale à plein bord / **P.Berges** : périmètre des berges

**Distance pb-Lm** : Distance entre le point de débordement pb le plus bas et le point Lm du même côté

**Granulométrie (G)** : classes granulométriques si le sédiment ne peut pas être mesuré : **TV** = Terre végétale (points hors d'eau très végétalisés) - **V** = Sédiments fins avec débris organiques fins - **A** = argiles - **L** = Limons - **SF** = Sables fins - **SG** = sables grossiers - **PG** = Pierres grossières - **B** = Blocs

					D <sub>berg</sub> 1 (RD)	D <sub>berg</sub> 2	D <sub>berg</sub> 3	D <sub>berg</sub> 4	D <sub>berg</sub> 5 (RG)
<b>Aval</b>  1	Débordement le plus bas :	<input type="checkbox"/> RG	<input type="checkbox"/> RD	D <sub>berg</sub> = (cm)					
	Lpb =	Lm =		HT = (mm)					
	Hpb =	P. Berges =		G = (mm)					
	Distance Pb - Lm =	Faciès :		En eau?					
Sous berge :	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non							
2	Débordement le plus bas :	<input type="checkbox"/> RG	<input type="checkbox"/> RD	D <sub>berg</sub> = (cm)					
	Lpb =	Lm =		HT = (mm)					
	Hpb =	P. Berges =		G = (mm)					
	Distance Pb - Lm =	Faciès :		En eau?					
Sous berge :	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non							
3	Débordement le plus bas :	<input type="checkbox"/> RG	<input type="checkbox"/> RD	D <sub>berg</sub> = (cm)					
	Lpb =	Lm =		HT = (mm)					
	Hpb =	P. Berges =		G = (mm)					
	Distance Pb - Lm =	Faciès :		En eau?					
Sous berge :	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non							
4	Débordement le plus bas :	<input type="checkbox"/> RG	<input type="checkbox"/> RD	D <sub>berg</sub> = (cm)					
	Lpb =	Lm =		HT = (mm)					
	Hpb =	P. Berges =		G = (mm)					
	Distance Pb - Lm =	Faciès :		En eau?					
Sous berge :	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non							
5	Débordement le plus bas :	<input type="checkbox"/> RG	<input type="checkbox"/> RD	D <sub>berg</sub> = (cm)					
	Lpb =	Lm =		HT = (mm)					
	Hpb =	P. Berges =		G = (mm)					
	Distance Pb - Lm =	Faciès :		En eau?					
Sous berge :	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non							
<b>Amont</b>  6	Débordement le plus bas :	<input type="checkbox"/> RG	<input type="checkbox"/> RD	D <sub>berg</sub> = (cm)					
	Lpb =	Lm =		HT = (mm)					
	Hpb =	P. Berges =		G = (mm)					
	Distance Pb - Lm =	Faciès :		En eau?					
Sous berge :	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non							

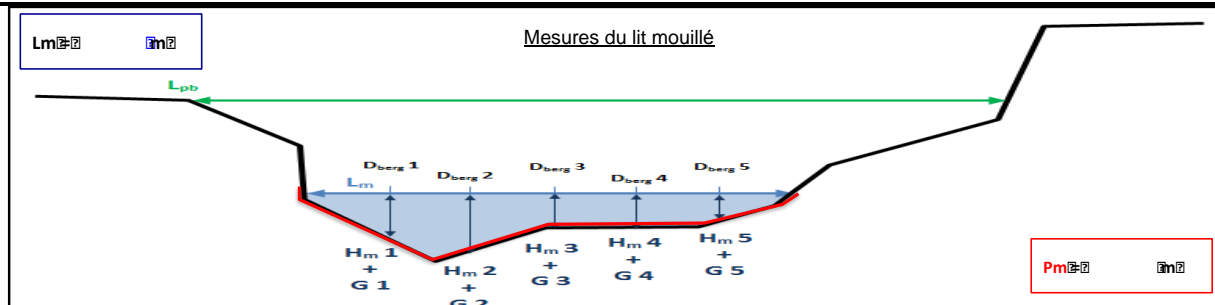
**L. Mesure de débit (Débitmètre acoustique à effet Doppler (ADV) à privilégier si à disposition)**

Lm = largeur du lit mouillé ; V = vitesse (m/s) ; Pm = périmètre de la section mouillée ; D<sub>berg</sub> : distance à la berge ; H<sub>m</sub> = hauteur d'eau ; Q = débit (L/s)

Par méthode Volumétrique :			
Volume du seau utilisé	T <sub>1</sub> (s) =		T <sub>4</sub> (s) =
h =	T <sub>2</sub> (s) =		T <sub>5</sub> (s) =
r =	T <sub>3</sub> (s) =		

**Par méthode d'exploration du champ des vitesses :**

Mesure de la section utilisée pour la mesure de débit (5 mesures tous les 1/6 Lpb le long d'1 transect) :



	D <sub>berg 1</sub> (RD)	D <sub>berg 2</sub>	D <sub>berg 3</sub>	D <sub>berg 4</sub>	D <sub>berg 5</sub> (RG)
D <sub>berg</sub> = (cm)					
H <sub>m</sub> = (mm)					

**à l'aide de courantomètres mécaniques ou électromagnétiques :**

**à l'aide d'un débitmètre acoustique à effet Doppler :**

- Si le tirant d'eau est trop faible (< 20 cm) : 1 point de mesure par verticale à 0.6 h ou 2 points 0.2 h et 0.8 h  
 - 5 verticales pour une section hétérogène, seulement 3 si la section est homogène (D<sub>berg 1</sub>, D<sub>berg 3</sub> et D<sub>berg 5</sub>)

l <sub>m</sub> (m) =		P <sub>moy</sub> (m) =		Section (m <sup>2</sup> ) =	
K =		V <sub>moy</sub> (m/s) =		Q (m <sup>3</sup> /s) =	

D <sub>berg 1</sub> (RD)	D <sub>berg 2</sub>	D <sub>berg 3</sub>	D <sub>berg 4</sub>	D <sub>berg 5</sub> (RG)
D <sub>berg</sub> = (cm)				
H <sub>m</sub> = (mm)				

**Par méthode dite "du bouchon"**

h1 (mm)					Sur une distance de :			T <sub>1</sub> (s) =		T <sub>2</sub> (s) =
h2 (mm)					T <sub>3</sub> (s) =		T <sub>4</sub> (s) =		T <sub>5</sub> (s) =	
h3 (mm)										
V1 (m/s) =										
V2 (m/s) =										
V3 (m/s) =										

## A. Données générales

Code tronçon = \_\_\_\_\_ Date prospectée : \_\_\_\_\_

**MESURES A EFFECTUER UNIQUEMENT SUR LA STATION (excepté pour le volet O)**

## M. Occupation du sol dans la bande rivulaire (15m par rive)

Rive gauche		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 <sup>1</sup> (m) = <span style="float: right;">15 m</span> Largeur non traitée <sup>2</sup> (m) = <span style="float: right;">15 m</span>		<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 <sup>1</sup> (m) = <span style="float: right;">15 m</span> Largeur non traitée <sup>2</sup> (m) = <span style="float: right;">15 m</span>

<sup>1</sup> ne présentant pas de signe d'artificialisation (bétonnage des berges, endiguement, etc...)

<sup>2</sup> ne présentant pas de signe de traitement phytosanitaire

## N. Evaluation des habitats de zones humides caractéristiques le long du tronçon

(de la source à la 1ère confluence ; au sein de la vallée fluviale)

N° <sup>3</sup>	Rive	Code CORINE biotope niveau 3 <sup>4</sup>	Espèces végétales indicatrices rencontrées		Recouvrement par strate <sup>5</sup>	
			sp.I :	sp.II :	muscinale :	herbacée :
1	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		sp.I :		muscinale :	herbacée :
			sp.II :		arbusive :	arborée :
2	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		sp.I :		muscinale :	herbacée :
			sp.II :		arbusive :	arborée :
3	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		sp.I :		muscinale :	herbacée :
			sp.II :		arbusive :	arborée :
4	<input type="checkbox"/> RG <input type="checkbox"/> RD		sp.I :		muscinale :	herbacée :
			sp.II :		arbusive :	arborée :

Absence de zones humides

Remarques sur les habitats observés :

<sup>3</sup> Par ordre décroissant de recouvrement estimé / <sup>4</sup> Typologie CORINE biotopes comportant 3 chiffres (ex : 44.9)

sp.I = espèces indicatrices principales / sp.II = espèces indicatrices secondaires

<sup>5</sup> Strate herbacée < 2 m ≤ strate arbusive < 7 m ≤ strate arborée

Classe de recouvrement : r = R ≤ 1% / 1 = 1 < R < 5% / 2 = 5 ≤ R < 25% / 3 = 25 ≤ R < 50% / 4 = 50 ≤ R < 75% / 5 = 75 ≤ R

Recouvrement de l'ensemble de l'appareil végétatif au niveau de la cime pour chaque strate

## O. Description de la ripisylve (le long des 30 m de station, sur une largeur de 5 m par rive)

Rive gauche				Rive droite			
Épaisseur de la strate arborée (en largeur) :				Épaisseur de la strate arborée (en largeur) :			
<input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Éparse <input type="checkbox"/> Rideau <input type="checkbox"/> 5-10m <input type="checkbox"/> 10-15m <input type="checkbox"/> >15m				<input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Éparse <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) =				Distance moy. au pied de berge (m) =			
Nb d'arbres et/ou de touradons développant un chevelu racinaire en pied de berge =				Nb d'arbres et/ou de touradons développant un chevelu racinaire en pied de berge =			
Recouvrement par strate <sup>6</sup> :				Recouvrement par strate <sup>6</sup> :			
muscinale :		herbacée :		muscinale :		herbacée :	
arbusive :		arborée :		arbusive :		arborée :	
<sup>7</sup> Nombre de touradon :		Hauteur moy. (cm) :		<sup>7</sup> Nombre de touradon :		Hauteur moy. (cm) :	
		Diamètre moy. (cm) :				Diamètre moy. (cm) :	
<sup>8</sup> Nombre d'arbre :				<sup>8</sup> Nombre d'arbre :			
Nombre de semis et perches :				Nombre de semis et perches :			
Espèces		Bois ou gros bois		Espèces		Bois ou gros bois	
		<sup>9</sup> Futaie ou taillis				<sup>9</sup> Futaie ou taillis	

<sup>6</sup> (Cf O.) Classe de recouvrement : r = R ≤ 1% / 1 = 1 < R < 5% / 2 = 5 ≤ R < 25% / 3 = 25 ≤ R < 50% / 4 = 50 ≤ R < 75% / 5 = 75 ≤ R

<sup>7</sup> Nombre de touradon d'herbacées si absence de strate arborée et touradons structurant la ripisylve

<sup>8</sup> Noter le nombre d'arbre par classe de diamètre / pour les bois et gros bois noter l'espèce et s'il est de type fût ou de type taillis  
 Classes de diamètres : Semis = <5cm / Perches = 5-15cm / Bois = 15-45cm / Gros bois = >45cm. Le diamètre est mesuré à la base.

<sup>9</sup> Pour chaque bois ou gros bois comptabilisé, préciser s'il est de type futaie ou taillis.

## P. Présence de litière (Station, 5m par rive)

Rive gauche					Rive droite			
Litière :	<input type="checkbox"/> présence	<input type="checkbox"/> absence	<input type="checkbox"/> éparsé		Litière :	<input type="checkbox"/> présence	<input type="checkbox"/> absence	<input type="checkbox"/> éparsé
Type :	<input type="checkbox"/> feuillus	<input type="checkbox"/> résineux	<input type="checkbox"/> mixte		Type :	<input type="checkbox"/> feuillus	<input type="checkbox"/> résineux	<input type="checkbox"/> mixte
Longueur cumulée (m) =					Longueur cumulée (m) =			
Largeur moyenne (m) =					Largeur moyenne (m) =			

## Q. Présence d'obstacle à l'écoulement dans le cours d'eau de l'aval vers l'amont (Bois / MOPG / Végétation immergée / Roche)<sup>9</sup> cm

Type :										
Faciès d'écoulement										
Diamètre / largeur <sup>10</sup>										
Longueur :										
Rôles <sup>11</sup> :										
Type :										
Faciès d'écoulement										
Diamètre / largeur <sup>10</sup>										
Longueur :										
Rôles <sup>11</sup> :										
Type :										
Faciès d'écoulement										
Diamètre / largeur <sup>10</sup>										
Longueur :										
Rôles <sup>11</sup> :										

<sup>9</sup> **Bois** : Tout bois dont le diamètre est supérieur à 3 cm + bois ayant un impact sur l'écoulement si inférieur à 3 cm / **MOPG** : Matière Organique Particulaire Grossière (≥ 1 mm) retenu à la surface de l'eau et ayant un impact sur l'écoulement / **Végétation immergée (Vgi)** dans le lit du cours d'eau ayant un impact sur l'écoulement

<sup>10</sup> **Bois** : noter son diamètre, et sa longueur / **MOPG** : noter la longueur et la largeur occupée / **Vgi** : noter la longueur et la largeur occupée (si pieds isolés, indiquer : **Piso**)

<sup>11</sup> **BOF**: Barrage Ouvert au Fond / **BS** : Barrage Strict / **EDL**: Entassement Déflecteur Latéral / **EP** : Entassement Parallèle / **I** : Indéterminé / **RMO** : Rétention de la Matière Organique / **EDC** : Entassement Déflecteur Central

## R. Erodabilité des berges

Rive gauche					
Position	Matériau constitutif <sup>10</sup>	Végétation	Érodabilité		
Haut de berge		<input type="checkbox"/> ouï <input type="checkbox"/> non			<input type="checkbox"/> nulle
Milieu de berge		<input type="checkbox"/> ouï <input type="checkbox"/> non			<input type="checkbox"/> faible
Bas de berge		<input type="checkbox"/> ouï <input type="checkbox"/> non			<input type="checkbox"/> moyenne
				<input type="checkbox"/> importante	
Rive droite					
Position	Matériau constitutif <sup>10</sup>	Végétation	Érodabilité		
Haut de berge		<input type="checkbox"/> ouï <input type="checkbox"/> non			<input type="checkbox"/> nulle
Milieu de berge		<input type="checkbox"/> ouï <input type="checkbox"/> non			<input type="checkbox"/> faible
Bas de berge		<input type="checkbox"/> ouï <input type="checkbox"/> non			<input type="checkbox"/> moyenne
				<input type="checkbox"/> importante	

<sup>10</sup> **Matériaux constitutifs des berges** : **A** = Argiles / **AL** = Argilo-limoneux / **L** = Limons / **SL** = Sablo-limoneux / **S** = Sables  
**G** = Graviers / **P** = Pierre / **HO** = Horizon organique

## S. Estimation du recouvrement du linéaire par la végétation surplombante sur le lit mineur

Recouvrement du linéaire :

Classe de recouvrement : **r** = R ≤ 1 % / **1** = 1 < R < 5 % / **2** = 5 ≤ R < 25 % / **3** = 25 ≤ R < 50 % /  
**4** = 50 ≤ R < 75 % / **5** = 75 ≤ R

## T. Observations



## Annexe 2. Modifications apportées au protocole 2013 mis en place par A. Jan

En 2013, A. Jan proposa un "Protocole d'évaluation du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau en tête de bassin en état de référence sur le territoire de la DIR 2" lors de son stage de Master 2 à partir du protocole de l'ONEMA sur la caractérisation hydromorphologique des cours d'eau (CARHYCE, 2010) et des travaux d'Aurélia Mathieu (2010). Ce protocole a pour objectif d'être une méthode d'évaluation accessible, rapide et nécessitant peu de moyens matériels. En 2014, nous proposons donc des modifications visant à améliorer son utilisation et maximiser les données recueillies.

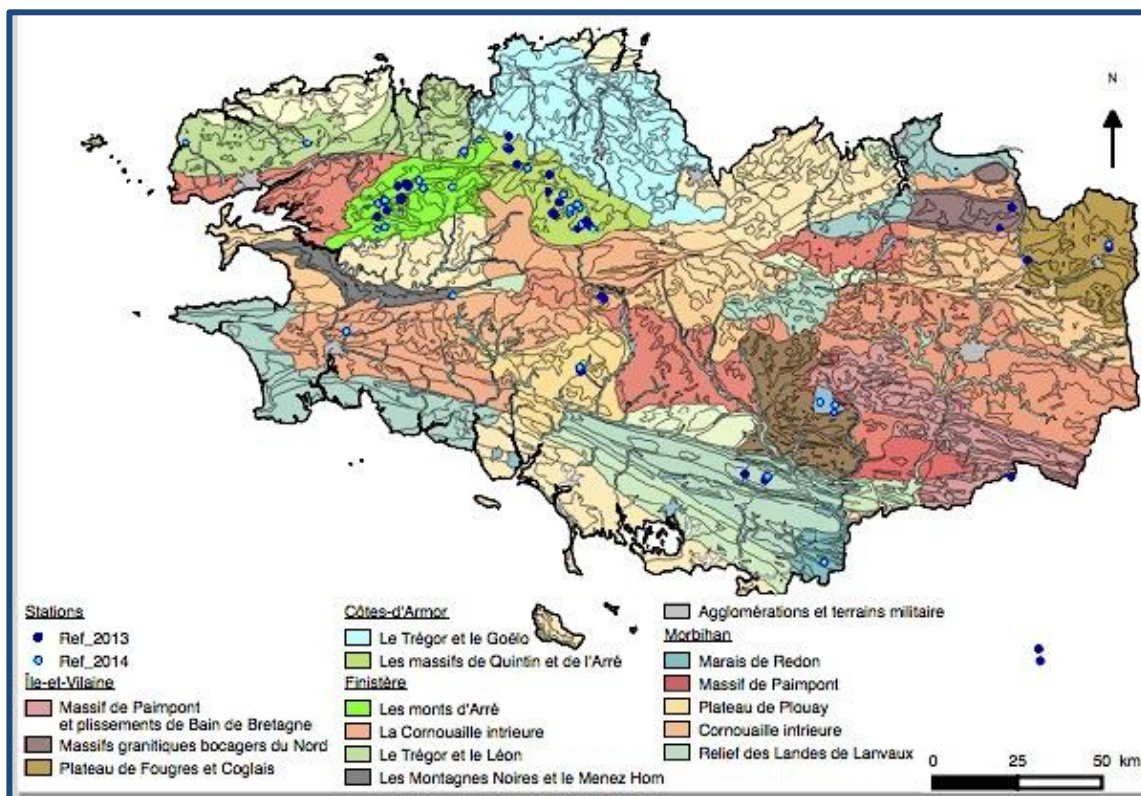
Ces modifications sont recensées dans le tableau de synthèse ci-dessous :

Protocole TBV 2014	
Modifications du protocole 2013	Objectifs
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mise en forme du protocole et mise en évidence de points clés.</li> <li>➤ Modification de l'ordre des mesures avec séparation en fiches pour faciliter le travail en équipes indépendantes.</li> </ul>	
<b>Caractéristiques du tronçon (B)</b>	
Distance entre le début du cours d'eau et la source.	<i>Apporter une information sur le type de source ainsi qu'une information plus précise que le rang de Strahler.</i>
Distance entre la station et la source.	<i>Utilisée pour la comparaison des stations entre elles. Couplée avec la surface du BV, apporte une information sur le potentiel morphogène du TBV.</i>
<b>Forme de la vallée</b>	
Suppression des classes "Vallée en U" et "Bol".	<i>Classes peu évidentes à caractériser sur le terrain et non adaptées à la taille des vallées en tête de bassin en régions Bretagne et Pays de la Loire.</i>
Reformulation des classes et ajout d'un critère d'angle des pentes pour faciliter la reconnaissance des classes.	
<b>Tracé en plan de la station</b>	
Suppression de cette section.	<i>Gain de temps en rapport avec le faible apport informatif.</i>
<b>Évaluation des faciès d'écoulement (J)</b>	
Ajout du faciès "Mouille de concavité".	<i>Faciès profond au profil en travers asymétrique que l'on retrouve généralement dans les concavités de méandre. Faciès correspondant à une zone de dissipation d'énergie (Malavoi et Souchon, 2002).</i>
Explication de la précision recherchée.	<i>Les différences d'échelle entre les cours d'eau échantillonnés (TBV de rang 1 de faible gabarit) et des rivières de rang supérieur peuvent aboutir à des approximations si on ne replace pas la mesure demandée dans son contexte.</i>
Remplacement de la longueur du faciès par les bornes du décimètre.	<i>Faciliter la mesure et la prise de note sur le terrain.</i>
Adaptation des unités en fonction de la variable mesurée.	<i>Faciliter la prise de note sur le terrain.</i>

<b>Ajout d'une section "Végétation" du lit mouillé</b>	
Type de "végétation".	<i>Connaître le type de végétation et/ou de Matières Organiques Particulaires Grossières (MOPG) se développant dans le lit mouillé du cours d'eau.</i>
Classe de recouvrement.	<i>Quantifier le développement d'éléments végétaux par faciès d'écoulement dans le lit mouillé.</i>
<b>Mesure du gabarit du lit (K)</b>	
Suppression des mesures du lit mouillé.	<i>Assouplissement du protocole. Répétition des mesures pour un apport informatif faible. La mesure du lit plein bord est jugée suffisante.</i>
<b>Couche d'armure (I)</b>	
La mesure de l'épaisseur de la couche d'armure est supprimée et remplacée par une évaluation de sa cohésion et de son éventuelle absence.	<i>L'identification de la profondeur est difficile sans prélèvement ni matériel spécifique. La fiabilité de la mesure étant mise en doute, une appréciation de sa cohésion nous semble un bon compromis.</i>
<b>Mesure de débit (L)</b>	
Ajout d'une fiche mesure de débit.	<i>L'objectif est de pouvoir comparer le débit mesuré au débit calculé théoriquement.</i>
Choix de la méthode de mesure.	<i>S'adapter aux moyens de l'expérimentateur sachant qu'il est préconisé l'utilisation d'un débitmètre acoustique à effet Doppler.</i>
<b>Évaluation des zones humides (N)</b>	
Suppression des mesures de longueur et de largeur.	<i>Jugées trop contraignantes. Nécessite une étude spécifique sur les zones humides.</i>
Abandon des critères "Micro-source" et "Connexion au lit".	<i>Biais observateur important (période d'observation).</i>
Détermination du type d'habitat (Code CORINE BIOTOPE de niveau 3).	<i>Standardisation de l'information.</i>
Identification des espèces végétales indicatrices.	<i>Précision des espèces indicatrices qui permettent la reconnaissance du type d'habitat.</i>
Recouvrement par strate.	<i>Informe du stade de développement de la zone humide et de son entretien éventuel. Permet une évaluation temporelle de son évolution.</i>
Ordre de classement de la taille des habitats.	<i>Ordonne les types d'habitats par dimension décroissante.</i>
<b>Description de la ripisylve (O)</b>	
Remplacement du type de strate rencontré par une estimation du recouvrement par strate.	<i>Informe du stade de développement de la ripisylve et de son entretien éventuel. Permet une évaluation temporelle de son évolution.</i>
Ajout des cases "aucune" et "éparse".	<i>Possibilités retrouvées sur le terrain.</i>
Ajout du nombre de touradons d'herbacées en pied de berge.	<i>Les touradons d'herbacées ont également un rôle structurant de la berge, notamment dans le cas de TBV sans strate arborée.</i>

Ajout du nombre de touradons d'herbacées, de la mesure de la hauteur moyenne et du diamètre moyen.	<i>Les touradons d'herbacées constituent la ripisylve dans certain type d'habitat (ex : code CORINE BIOTOPE 53.2).</i>
Plus de distinction semis et perche.	<i>Gain de temps et faible apport informatif.</i>
Nom de l'espèce seulement pour les classes "bois" et "gros bois".	<i>L'identification de l'espèce pour les semis et perches est jugée fastidieuse. Permet de relever la diversité spécifique de la ripisylve pour les classes d'âge les plus structurantes.</i>
Ajout de la précision "futaie" ou "taillis" pour les classes "bois" et "gros bois".	<i>Donne une idée du type de régénération après un événement (climatique ou humain). Permet une évaluation temporelle de l'évolution dynamique de la ripisylve pour sa compréhension et son accompagnement en termes de gestion.</i>
<b>Présence de bois en rivière (Q)</b>	
Présence de bois en rivière devient "Présence d'obstacles à l'écoulement", avec ajout de la végétation, des enrochements (toutes classes granulométriques confondues) et des patches de MOPG.	<i>Le bois n'est pas le seul obstacle à l'écoulement ayant un rôle morphogène sur le cours d'eau. Il apparaît nécessaire de prendre en compte tout type naturel d'obstacle à l'écoulement.</i>
Prise en compte de tout bois ayant un impact sur l'écoulement et non plus seulement ceux présentant un diamètre supérieur ou égale à 3 cm.	<i>L'importance est de quantifier les modifications de l'écoulement, quelque soit sa nature et sa dimension.</i>
Mesure de la longueur et de la largeur de l'obstacle (autre que de type "bois") à la surface de l'eau.	<i>Informe de la dimension de l'obstacle. La mesure est couplée au(x) rôle(s) morphogène(s) qu'il joue.</i>
Séparation en deux types, du rôle entassement défecteur (EC).	<i>Précise si l'entassement est latéral ou central. Modification en lien avec l'observation sur le terrain.</i>
Cumul des rôles possibles	<i>Nous observons une possible multiplicité des rôles vis à vis de l'écoulement pour un obstacle donné.</i>
<b>Présence de litière (P)</b>	
Suppression de la mesure de profondeur	<i>Nécessite un protocole à part entière pour évaluer le volume de litière.</i>
Ajout de la case "éparse" en plus de "présence" et "absence".	<i>Prend en compte les patches de litières dispersés.</i>
<b>Éclaircissement moyen du lit mineur</b>	
Suppression de ce module	<i>Appareil de mesure non disponible.</i>
<b>Estimation du recouvrement du linéaire par la végétation surplombante sur le lit mineur (S)</b>	
Ajout de ce module	<i>Informe de l'encombrement du milieu où le cours d'eau s'écoule et du développement de la végétation.</i>

### Annexe 3. Cartographie des stations échantillonnées en 2013 et 2014 par entité physiographique



(Couches : UCS\_22\_v1.0, UCS\_29\_v1, UCS\_56\_v1 et UCS\_35\_v1, AGROCAMPUS OUEST, Sols de Bretagne, 2012 ; sous Qgis, 2014)

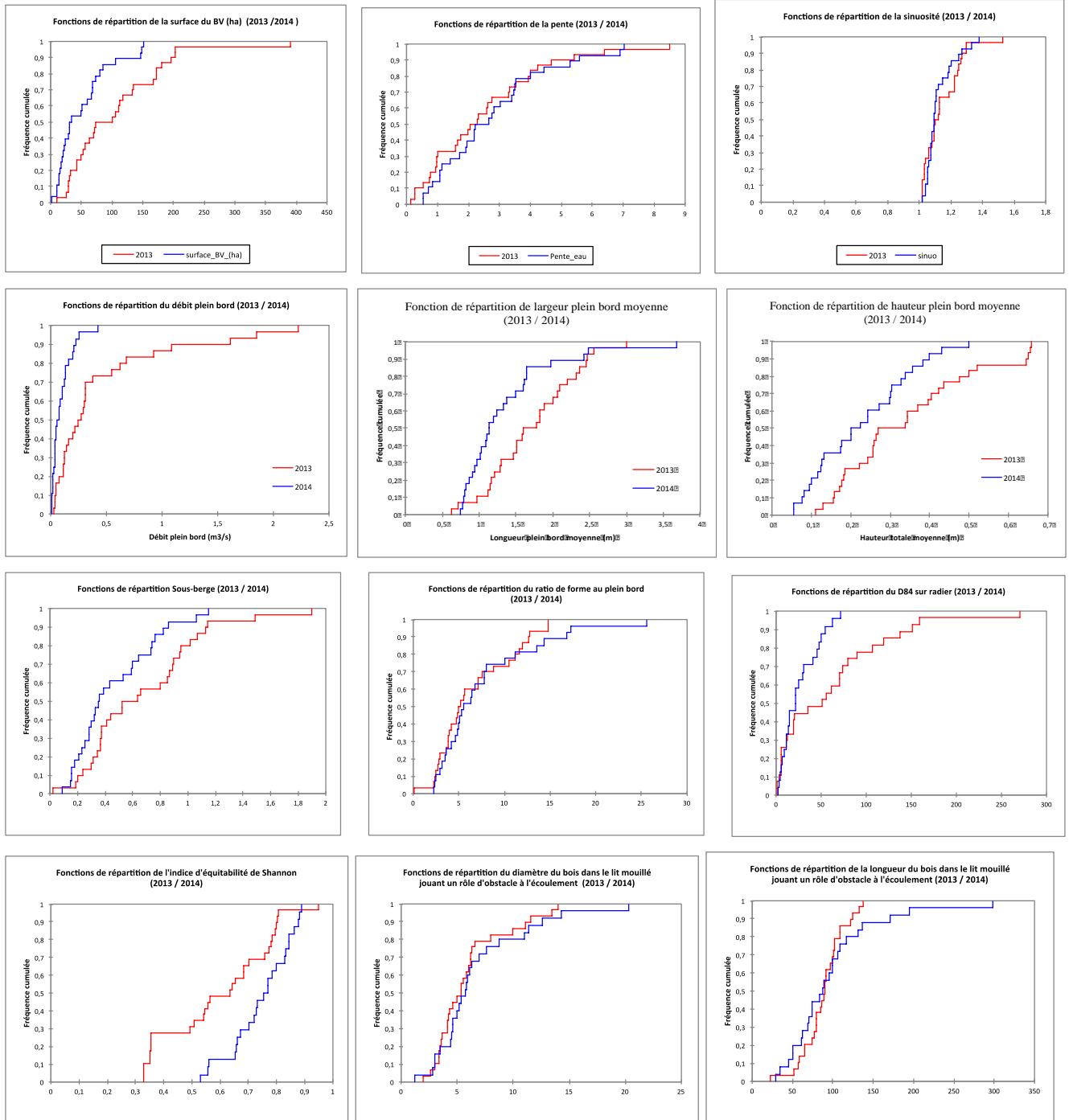
## Annexe 4. Matrice des corrélations : résultats bruts

Variables	Surface BV (ha)	Sinuosité	Pente (%)	Qpb moy (L/s)	Puissance sp.	Lpb moy	HT moy	Sous-berge	Lpb moy / HT moy	D50 radier	D84 Radier	E Shannon Faciès	E Shannon rôles obstacles	Diamètre moy bois	Longueur moy bois
Surface BV (ha)	<b>1</b>	0,102	-0,202	<b>0,646</b>	<b>0,309</b>	<b>0,398</b>	<b>0,651</b>	<b>0,575</b>	<b>-0,330</b>	0,262	<b>0,325</b>	0,025	-0,211	-0,190	0,169
Sinuosité	0,102	<b>1</b>	<b>-0,348</b>	-0,141	<b>-0,272</b>	-0,078	0,112	0,083	-0,127	-0,042	-0,037	0,066	-0,054	0,050	0,087
Pente (%)	-0,202	<b>-0,348</b>	<b>1</b>	0,151	<b>0,691</b>	0,060	-0,185	-0,041	0,185	<b>0,268</b>	0,245	<b>0,363</b>	<b>0,358</b>	0,023	0,116
Qpb moy (L/s)	<b>0,646</b>	-0,141	0,151	<b>1</b>	<b>0,737</b>	<b>0,528</b>	<b>0,774</b>	<b>0,646</b>	<b>-0,354</b>	<b>0,476</b>	<b>0,579</b>	0,069	-0,179	-0,113	0,194
Puissance sp.	<b>0,309</b>	<b>-0,272</b>	<b>0,691</b>	<b>0,737</b>	<b>1</b>	0,198	<b>0,490</b>	<b>0,492</b>	<b>-0,344</b>	<b>0,527</b>	<b>0,568</b>	<b>0,351</b>	0,098	-0,127	0,095
Lpb moy	<b>0,398</b>	-0,078	0,060	<b>0,528</b>	0,198	<b>1</b>	0,100	0,003	<b>0,474</b>	-0,017	0,046	-0,221	-0,036	0,062	<b>0,412</b>
HT moy	<b>0,651</b>	0,112	-0,185	<b>0,774</b>	<b>0,490</b>	0,100	<b>1</b>	<b>0,876</b>	<b>-0,796</b>	<b>0,502</b>	<b>0,566</b>	0,180	-0,253	-0,194	0,073
Sous-berge	<b>0,575</b>	0,083	-0,041	<b>0,646</b>	<b>0,492</b>	0,003	<b>0,876</b>	<b>1</b>	<b>-0,750</b>	<b>0,520</b>	<b>0,598</b>	<b>0,287</b>	-0,173	-0,103	-0,019
Lpb moy / HT moy	<b>-0,330</b>	-0,127	0,185	<b>-0,354</b>	<b>-0,344</b>	<b>0,474</b>	<b>-0,796</b>	<b>-0,750</b>	<b>1</b>	<b>-0,423</b>	<b>-0,450</b>	<b>-0,302</b>	0,168	0,175	0,164
D50 radier	0,262	-0,042	<b>0,268</b>	<b>0,476</b>	<b>0,527</b>	-0,017	<b>0,502</b>	<b>0,520</b>	<b>-0,423</b>	<b>1</b>	<b>0,924</b>	<b>0,392</b>	-0,132	-0,127	-0,059
D84 Radier	<b>0,325</b>	-0,037	0,245	<b>0,579</b>	<b>0,568</b>	0,046	<b>0,566</b>	<b>0,598</b>	<b>-0,450</b>	<b>0,924</b>	<b>1</b>	<b>0,317</b>	-0,215	-0,097	-0,020
E Shannon Faciès	0,025	0,066	<b>0,363</b>	0,069	<b>0,351</b>	-0,221	0,180	<b>0,287</b>	<b>-0,302</b>	<b>0,392</b>	<b>0,317</b>	<b>1</b>	0,091	0,058	-0,176
E Shannon rôles obstacles	-0,211	-0,054	<b>0,358</b>	-0,179	0,098	-0,036	-0,253	-0,173	0,168	-0,132	-0,215	0,091	<b>1</b>	<b>0,410</b>	<b>0,313</b>
Diamètre moy bois	-0,190	0,050	0,023	-0,113	-0,127	0,062	-0,194	-0,103	0,175	-0,127	-0,097	0,058	<b>0,410</b>	<b>1</b>	0,156
Longueur moy bois	0,169	0,087	0,116	0,194	0,095	<b>0,412</b>	0,073	-0,019	0,164	-0,059	-0,020	-0,176	<b>0,313</b>	0,156	<b>1</b>

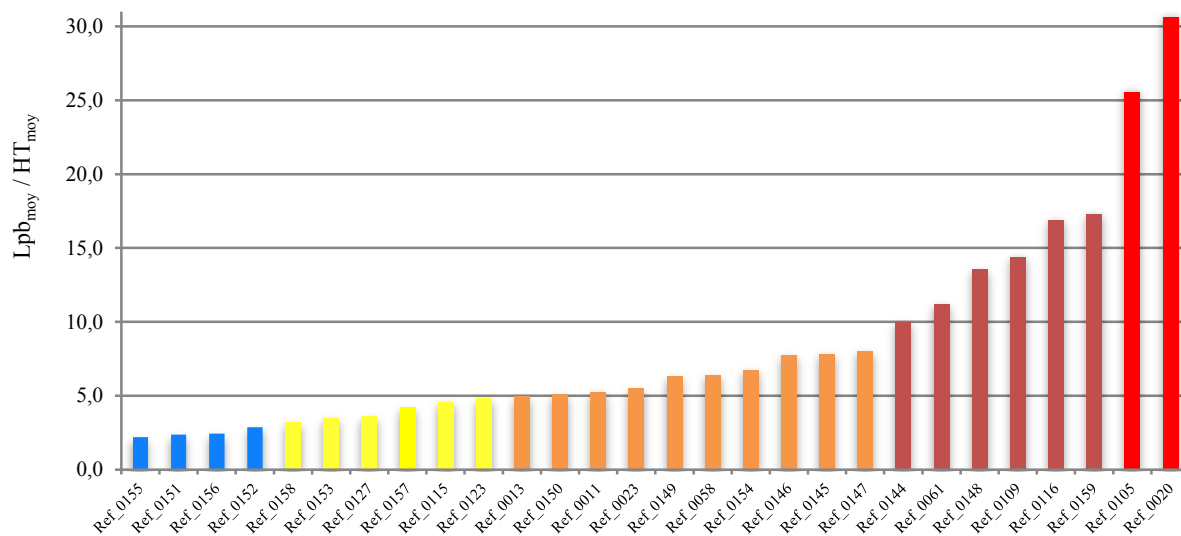
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0.05$

## Annexe 5. Comparaison des distributions des variables des jeux de données 2013 et 2014

Test de comparaison de deux distributions (Kolmogorov-Smirnov) sous XLSTAT 2014 (p-value : p-value exacte ; Niveau de signification : 5 %) Les courbes bleues représentent la distribution 2013 et les courbes rouges la distribution 2014.



## Annexe 6. Répartition des stations par classes de ratio de forme

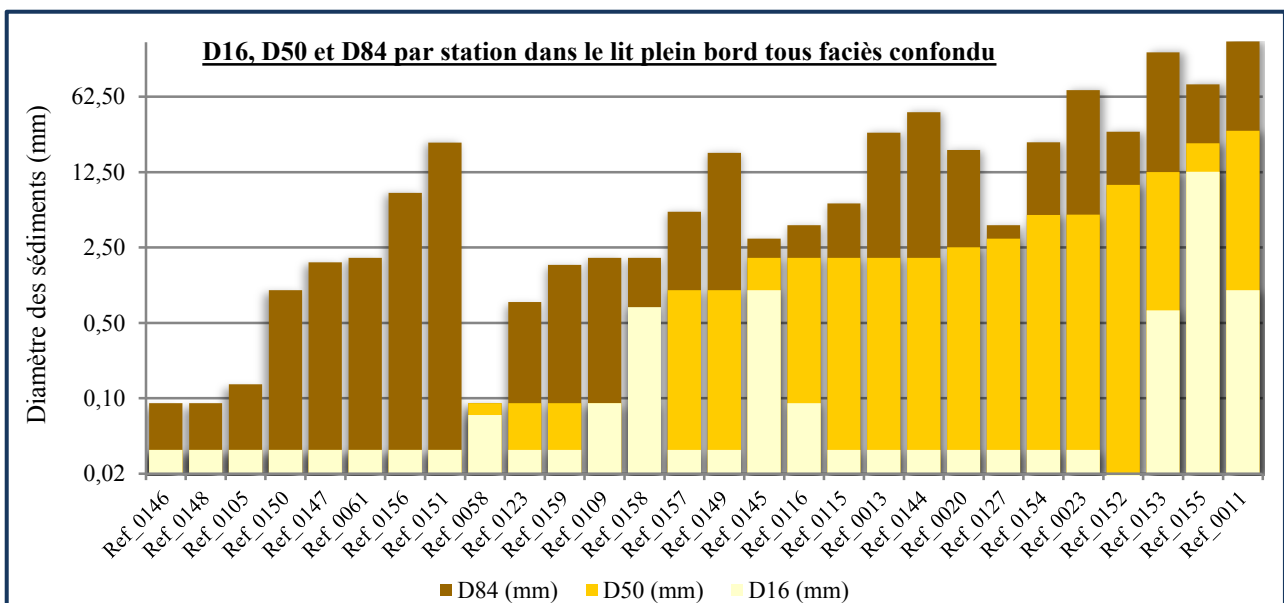
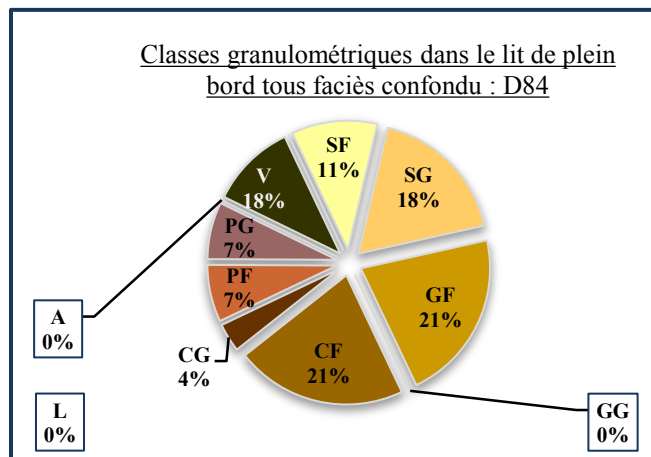
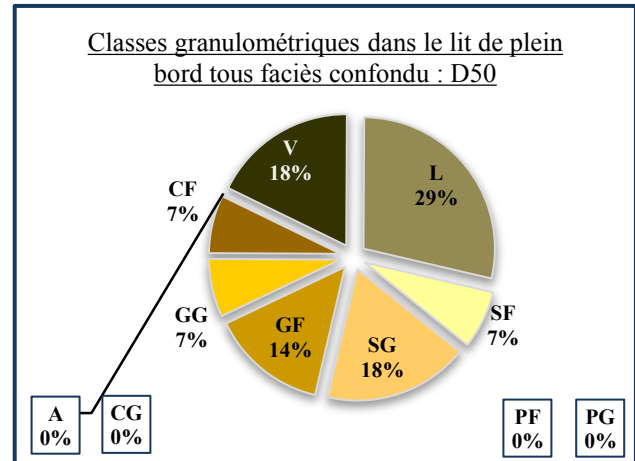
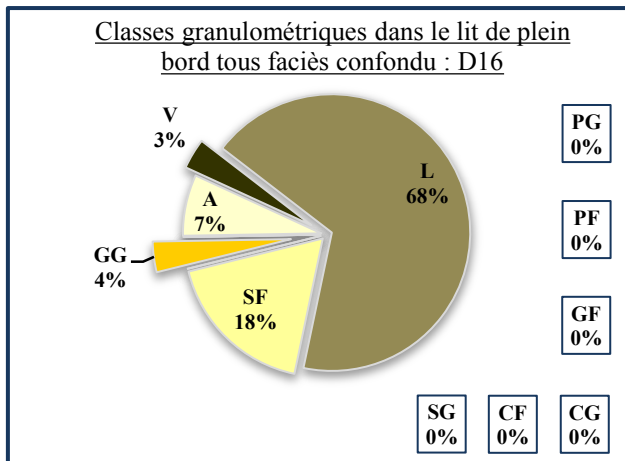


Répartition des station par classe de ratio de forme (ratio < 3 en bleu ; 3 < - ≤ 5 en jaune ; 5 < - ≤ 10 en orange, 10 < - ≤ 20 en rouge ; 20 < - en rouge vif)



## Annexe 7. Analyse descriptive de la granulométrie moyenne sur l'ensemble de la station, jeu de données 2014 (28 stations bretonnes)

À partir des prélèvements granulométriques effectués sur chaque transect, une analyse descriptive de la répartition granulométrique évalue les **classes granulométriques représentatives** d'un cours d'eau breton de tête de bassin versant en **situation de référence** hydromorphologique (d'après l'échelle granulométrique de Wentworth modifiée ; V = Vase ; A = Argile ; L = Limon ; SF = Sable Fin ; SG = sable grossier ; GF = Gravier Fin ; GG = Gravier Grossier ; CF = Caillou Fin ; CG = Caillou Grossier ; PF = Pierre Fine ; PG = Pierre Grossière).



## Résumé

---

Les objectifs généraux de non-dégradation et d'atteinte du "bon état" des cours d'eau définis par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) incitent les gestionnaires des milieux aquatiques et de la ressource en eau à diriger leurs actions vers l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau ainsi que la mise en œuvre d'opérations de restauration de ces milieux. Le rôle fondamental que jouent les cours d'eau de tête de bassin versant (TBV) dans les fonctionnalités écologiques du réseau hydrographique rend l'étude de ses milieux indispensable. Leurs caractéristiques singulières nécessitent d'adapter les outils d'évaluation et de gestion à leurs spécificités de fonctionnement. Cette étude propose, par une évaluation hydromorphologique adaptée, de quantifier les différentes variables de contrôle (surface de bassin versant, forme de vallée, débit, charge sédimentaire, ripisylve, etc.) et de réponse (sinuosité, ratio de forme, faciès d'écoulement, obstacles à l'écoulement, etc.) pour l'amélioration des connaissances de leur fonctionnement et l'obtention de valeurs guides à destination des gestionnaires des milieux aquatiques pour préserver ces milieux riches en services écosystémiques, mais aussi très vulnérables.

Mots clés : DCE, Cours d'eau, hydromorphologie, restauration, tête de bassin versant, condition de référence, typologie

## Abstract

---

The Water Framework Directive (WFD) dictates that 'hydromorphological condition' of water bodies should be capable of supporting 'Good Ecological Status'. This requirement encourages the aquatic resources managers to improve their hydromorphological headwater knowledge and the implementation of restore operations in these environments. The fundamental role played by headwater in ecological functions of the river system makes essential the study of its environments. Their singular characteristics need to adapt assessment and management tools to their specific functioning. This study suggests making a headwater hydromorphological assessment adapted to quantify the different control variables (watershed area, shape of valley, flow, sediment load, riparian vegetation, etc.) and response variables (sinuosity, shape ratio, facies flow, flow obstacles, etc.) to improve functioning knowledge and to obtain guide values for aquatic environments manager. This will be use to preserve headwater habitats, with high ecosystem services, although they are a very vulnerable ecosystems.

Keywords: WFD, streams, hydromorphology, restoration, headwater, reference conditions, typology