

# Etude exploratoire des rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire

Stage effectué du 01/03/2020 au 31/08/2020  
au sein de la Direction Régionale Bretagne  
de l'Office Français de la Biodiversité



Maxime GALINEAU  
Master 2 Gestion des Habitats et des Bassins Ver-  
sants (GHBV)  
Soutenance le 15 septembre 2020

Maîtres de stage : Alexandra HUBERT et Mikaël LE BIHAN  
Correspondant universitaire : Christophe PISCART



**Observatoire**  
des Sciences de l'Univers  
de Rennes





*L'eau est notre matrice commune.*

*Indispensable à toute forme de vie.*

*La respecter depuis sa source la plus humble,  
jusqu'aux premières ondes océaniques est essentiel.*



## Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mes maîtres de stage, Mikaël Le Bihan et Alexandra Hubert. Tout d'abord, je vous remercie de m'avoir accordé une nouvelle fois votre confiance pour mener cette fantastique expédition à la découverte de l'Aqua Incognita ! Nul doute que je me souviendrai de nos tribulations au fond des campagnes Bretonnes, des kilomètres de fossés et des terrains sous la pluie. Mais à vrai dire, je me souviendrai surtout de votre soutien et de votre bienveillance inconditionnels, des vertus salvatrices dans cette période si particulière. Alexandra, ton énergie débordante et ton optimisme à toute épreuve me fascinent encore. Mikaël, tes conseils ont été précieux.

J'aimerais également adresser mes remerciements à Josselin Barry. Pendant les premiers mois de mon stage, tu as été mon principal interlocuteur et sûrement celui avec qui j'ai passé le plus de temps en visio ! Merci pour tes échanges, tes réflexions, tes coups de main et ta patience.

Ensuite, je voudrais remercier Pascal Irz. Présent du début à la fin, désireux d'aider et de transmettre, je te remercie pour les coups de main que tu as pu me donner et pour l'intérêt que tu as porté à mon stage. Je te remercie également pour m'avoir partagé cet attrait pour la programmation sur R, tes projets et ta pédagogie ont su susciter chez moi l'envie d'apprendre !

Je souhaite également remercier mon voisin de bureau, Olivier Musard, pour ces quelques repas et discussions partagés. Je n'oublie pas Patricia, qui n'a jamais manqué de prendre de mes nouvelles chaque fois qu'elle était là.

Je remercie évidemment tous ceux qui se sont intéressés de près ou de loin au sujet de mon stage, tous ceux qui a un moment m'ont proposé leur aide et l'ensemble du personnel de la direction OFB Bretagne pour leur accueil encore chaleureux cette année.

Plus personnellement, je remercie Camille, amie chère, soutien de confinement et partenaire d'échecs, pour tout ce qu'elle a pu m'apporter pendant cette longue période de solitude.

## Présentation de la structure

L'Office Français de la Biodiversité (OFB) a été créé le 1<sup>er</sup> janvier 2020 par la loi n°2019-773 du 24 juillet 2019 en réponse aux enjeux actuels de préservation du vivant et se dédie à la protection et à la restauration de la biodiversité.

L'OFB est un établissement public placé sous la tutelle des ministères de la Transition écologique et solidaire (MTES) et de l'Agriculture et de l'alimentation. Il est issu du regroupement de l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). Il rassemble ainsi les compétences et expertises des établissements sur les milieux aquatiques, terrestres et marins.



Tous engagés  
pour la biodiversité

Son activité s'articule autour de 5 missions complémentaires.

### ***L'appui à la mise en œuvre des politiques publiques***

L'OFB a pour mission d'accompagner et d'apporter son appui aux acteurs publics, privés et à la société civile pour la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques.

### ***La gestion et l'appui aux gestionnaires d'espaces naturels***

Beaucoup des espaces naturels protégés sont gérés ou rattachés directement à l'OFB. D'autres sont gérés par des opérateurs distincts : autres établissements publics, collectivités, fédérations, associations... L'OFB apporte son appui technique à l'ensemble des gestionnaires d'aires marines protégées (AMP) via l'animation du Forum des gestionnaires d'AMP et de plusieurs réseaux. L'Office contribue également aux stratégies nationales en lien avec les espaces protégés.

### ***La police de l'environnement et la police sanitaire de la faune sauvage***

L'OFB contribue à l'exercice des polices administrative et judiciaire relatives à l'eau (pollution de la ressource, atteinte aux zones humides ou littoral), aux espaces naturels, à la flore et la faune sauvage (espèces gibier ou protégées, lutte contre les trafics d'espèces), à la chasse (contre-braconnage, renforcement de la sécurité à la chasse) et à la pêche.

### ***L'appui aux acteurs et la mobilisation de la société***

L'OFB a pour mission la mobilisation de l'ensemble de la société en faveur de la biodiversité. Son rôle de levier auprès des acteurs, décideurs et des citoyens doit contribuer à réduire les pressions exercées sur la faune, la flore et leurs habitats tout en multipliant les contributions positives.

### ***La connaissance, la recherche et l'expertise sur les espèces, les milieux et leurs usages***

Le développement de la connaissance et de l'expertise sur l'ensemble des composantes de la nature constitue l'une des missions principales de l'OFB. Dans le cadre de cette mission, les

agents de terrain ont pour rôle de collecter les données pour intervenir sur les milieux et espèces. L'OFB oriente, soutient et conduit également des projets de recherche. Il est aussi en charge de recueillir, structurer, et mettre à disposition de tous les données des systèmes d'information nationaux sur la biodiversité, les milieux marins, l'eau et les milieux aquatiques.

L'OFB est présent sur le territoire français métropolitain et ultramarin et se décline aux échelles nationales, régionales et locales avec :

- 5 sites nationaux basés à Vincennes, Brest et Montpellier
- 14 directions (inter-)régionales dont une pour les territoires ultramarins
- 97 services (inter-)départementaux répartis en métropoles et en outre-mer

## Table des matières

---

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Synthèse bibliographique</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1. Les rangs zéro, un sous-ensemble des têtes de bassin versant</b> .....	<b>2</b>
1.1.1. Les têtes de bassin versant.....	2
1.1.2. Définition des rangs zéro.....	2
1.1.3. Les sources, à l'origine des premiers écoulements.....	4
1.1.4. La genèse des écoulements : saturation et ruissellement.....	5
<b>1.2. Fonctions des rangs zéro</b> .....	<b>5</b>
1.2.1. Maintien du régime hydrologique .....	5
1.2.2. Contrôle des inondations .....	6
1.2.3. Qualité de l'eau.....	6
1.2.4. Erosion et contrôle sédimentaire .....	6
1.2.5. Régulation de la température de l'eau .....	7
1.2.6. Biodiversité .....	7
<b>1.3. Pressions sur les rangs zéro</b> .....	<b>8</b>
1.3.1. Des milieux vulnérables .....	8
1.3.2. Synthèse des pressions .....	8
1.3.3. Réglementation existante.....	8
<b>1.4. Étiage, intermittence et réseau ONDE</b> .....	<b>10</b>
1.4.1. Définitions .....	10
1.4.2. Impact des étiages sur les écosystèmes cours d'eau.....	10
1.4.3. Le réseau ONDE.....	11
<b>2. Matériel et méthode</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. Contexte général de la zone d'étude</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2. Cartographie des rangs zéro à l'échelle du territoire Bretagne-Pays de la Loire</b> .....	<b>12</b>
2.2.1. Méthode d'extraction des exutoires de R0 à partir de la BD TOPAGE.....	13
2.2.2. Méthode d'extraction des exutoires de R0 à partir des CEP .....	14
<b>2.3. Sélection des stations</b> .....	<b>15</b>
<b>2.4. Protocole d'échantillonnage des rangs zéro</b> .....	<b>16</b>
2.4.1. Digitalisation des BV de rang zéro.....	16
2.4.2. Collecte des informations sur les stations.....	17
<b>3. Résultats</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1. Estimation du nombre de R0 sur le territoire</b> .....	<b>20</b>

<b>3.2. Stations sélectionnées .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3. Analyse des données échantillonnées sur le terrain.....</b>	<b>23</b>
3.3.1. Types de sources.....	23
3.3.2. Types de chenaux .....	23
3.3.3. Dimensions des chenaux de rang zéro et de rang 1 .....	23
3.3.4. Réseaux de drainage .....	24
3.3.5. Espèces inadaptées .....	25
<b>3.4. Analyse des données échantillonnées sous SIG .....</b>	<b>25</b>
3.4.1. Surface des bassins versants de rang zéro .....	25
3.4.2. Pentes et formes de vallée .....	26
<b>3.5. Analyse croisée des données SIG et terrain.....</b>	<b>26</b>
3.5.1. Occupation du sol et pressions .....	26
3.5.2. Plans d'eau .....	27
<b>4. Discussion.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. La notion de rang zéro .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Les altérations au sein des rangs zéro.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3. Recommandations pour l'étude des rangs zéro .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4. Recommandations pour la préservation et la restauration des rangs zéro .....</b>	<b>30</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>31</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>32</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>41</b>

## Table des illustrations

Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009).....	2
Figure 2 : Schéma d'un rang zéro. En vert, la délimitation la plus courante des bassins de rang 0 ; En rouge, la délimitation des rangs zéros selon Sheridan & Spies (2005) ou Storey <i>et al.</i> (2009) .....	3
Figure 3 : Schéma représentant les différents types de sources (d'après INP-ENSEEIH, 2005).....	4
Figure 4 : Occupation du sol sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire (données Corine Land Cover simplifiées) .....	12
Figure 5 : Les hydroécotones sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire.....	12
Figure 6 : Calcul du BV du lieu-dit de Kervilgoch à la Roche-Jaudy (22) selon les trois méthodes envisagées. De gauche à droite : MNT 25m, manuelle, MNT 5m .....	16
Figure 7 : Répartition de la densité de rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire d'après la BD TOPAGE .....	21
Figure 8 : Répartition de la densité de rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire d'après les CEP .....	21
Figure 9 : Densité de rangs zéro des départements du territoire Bretagne-Pays de la Loire....	22
Figure 10 : Carte de situation des stations sélectionnées .....	22
Figure 11 : Nombre de stations dans l'échantillon et nombre de stations attendu .....	22
Figure 12 : Nombre de stations par type de source rencontré sur le terrain.....	23
Figure 13 : Photographie d'un chenal de transition à Noyal-Muzillac (56), ici une portion sans berges distinctes .....	23
Figure 14 : Comparaison des largeurs et profondeurs à plein bord des chenaux échantillonnés. ....	24
Figure 15 : Degré d'artificialisation des segments de rang 1 échantillonnés .....	24
Figure 16 : Comparaison des surfaces de BV des rangs zéro avant et après le terrain .....	25
Figure 17 : Répartition de la surface des BV de rang zéro calculés après le terrain .....	26
Figure 19 : Répartition des pentes latérales sur les rangs zéro.....	26
Figure 18 : Répartition des pentes longitudinales sur les rangs zéro .....	26
Figure 20 : Représentation de la CCA entre (A) les pressions et l'occupation du sol d'après les données SIG et (B) entre les pressions et l'occupation du sol en habitats EUNIS .....	27

## **Index des tableaux**

Tableau 1 : Pressions susceptibles d’être observées sur les rangs zéro .....	9
Tableau 2 : Avantages et inconvénients des référentiels hydrographiques.....	13
Tableau 3 : Chaîne de traitements pour l'extraction des exutoires de rangs zéro à partir de la BD TOPAGE.....	14
Tableau 4 : Traitements correctifs appliqués pour l'extraction des exutoires de rang zéro à partir des CEP.....	15
Tableau 5 : Critères pour la sélection des BV des stations ONDE .....	15
Tableau 6 : Grille de lecture de l'indice d'artificialisation du lit mineur à l'échelle du segment (d'après Le Bihan, 2020) .....	18
Tableau 7 : Sources des données extraites via SIG .....	19

## **Abréviations**

BV : Bassin Versant

CE : Code de l'Environnement

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

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EPT : Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères

HER : Hydroécocorégion

IOTA : Installations, Ouvrages, Travaux et Activités

MES : Matières en suspension

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ONDE : Observatoire National Des Etiages

R0 : Rang zéro

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIG : Système d'information géographique

TBV : Tête de Bassin Versant

## Introduction

Les têtes de bassin versant (TBV) correspondent aux bassins versants des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2. Ces cours d'eau représentent entre 70 à 85% du linéaire total du réseau hydrographique (BENDA *ET AL.*, 2005 ; GOMI *ET AL.*, 2002 ; MEYER *ET AL.*, 2007 ; PETERSON *ET AL.*, 2001 ; SCHUMM, 1956 ; SHREVE, 1969) et remplissent de nombreux rôles essentiels au bon fonctionnement des écosystèmes voisins et en aval (ALEXANDER, 2007). Depuis 2010, la direction régionale Bretagne-Pays de la Loire de l'OFB (anciennement ONEMA puis AFB) a effectué de nombreux travaux sur les TBV (NGUYEN VAN, 2012 ; JAN, 2013 ; BOSSIS, 2014 ; COLIN, 2015 ; GUILLERME, 2015 ; BOUAS, 2016 ; MONDESIR, 2017 ; VALSANGIACOMO, 2017). Ces derniers ont permis de décrire et de mieux connaître ces milieux, leur morphologie, leur fonctionnement, leur biodiversité, ainsi que les altérations qu'ils subissent.

A l'amont des TBV subsiste une part inexplorée du réseau hydrographique qui n'est décrite sur aucun des référentiels cartographiques couramment utilisés (la BD Carthage®, la BD Topo®, la carte IGN au 1 : 25 000 appelée SCAN 25 et les cartographies de cours d'eau au titre de la police de l'eau) et qui est peu prise en compte dans les politiques de protection des milieux aquatiques. Bishop *et al.* (2008) la dénomment l'Aqua Incognita tandis que certains chercheurs emploient le terme de rang zéro (BENDA *ET AL.*, 2005 ; GOMI *ET AL.*, 2002 ; SADLER RICHARDS, 2004 ; SHERIDAN & SPIES, 2005 ; STOREY *ET AL.*, 2009). Les rangs zéro regroupent les écoulements non-cartographiés à l'amont du réseau de cours d'eau, les chenaux de transition et les zones de source.

Les TBV sont particulièrement exposées aux altérations d'origine anthropique (MEYER *ET AL.*, 2007) et aux impacts du changement climatique, notamment l'augmentation de la sévérité des étiages (LARNED *ET AL.*, 2010 ; LOWE AND LIKENS, 2005). Bien qu'omniprésents au sein du territoire, les rangs zéro, plus petits et moins visibles que les cours d'eau, sont susceptibles de subir ces mêmes pressions avec davantage d'intensité.

A l'heure actuelle, la part du réseau hydrographique constituée par les rangs zéro est peu abordée par les gestionnaires, les politiques de protection des milieux aquatiques et la plupart de la communauté scientifique. Dans le cadre de ses missions de connaissances et d'appui technique, l'OFB engage cette étude exploratoire qui vise à faire une première description des rangs zéro et à dresser un état des lieux des pressions qui s'y appliquent à l'amont de certaines stations du réseau de l'Observatoire National Des Etiages (ONDE) à l'échelle du territoire Bretagne-Pays de la Loire.

Dans une première partie, une revue des données scientifiques permettra de dresser une définition des rangs zéro, de répertorier leurs fonctions potentielles et les pressions qu'ils subissent. Dans un second temps, l'approche méthodologique et le protocole utilisés pour caractériser les rangs zéro seront décrits. Ensuite, les données récoltées seront synthétisées puis analysées.

# 1. Synthèse bibliographique

## 1.1. Les rangs zéro, un sous-ensemble des têtes de bassin versant

### 1.1.1. Les têtes de bassin versant

Les têtes de bassin versant (TBV) correspondent aux surfaces drainées par les extrémités apicales du réseau hydrographique (FREEMAN *ET AL.*, 2007). La délimitation des TBV varie selon les scientifiques et plusieurs définitions coexistent donc dans la littérature.

Adams et Spotila (2005) qualifient de cours d'eau en TBV les cours d'eau dont le bassin versant présente une superficie inférieure à 2 km<sup>2</sup>, tandis que Wipfli *et al.* (2007) proposent le critère d'un lit mineur de largeur inférieure à 1 mètre. Cependant, la plupart des définitions reposent sur l'ordination de Strahler (1957) (Figure 1). Celle-ci obéit aux règles suivantes :

- Tout tronçon qui n'a pas d'affluent (tronçon dit sourcier) se voit attribuer la valeur 1
- Un tronçon d'ordre n+1 est issu de la confluence de deux tronçons d'ordre n

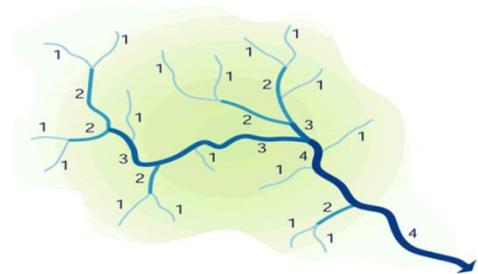


Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009)

La définition admise par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Loire-Bretagne (2015) intègre « les bassins versants (BV) des cours d'eau dont le rang de Strahler est inférieur ou égal à 2 et dont la pente est supérieure à 1 %. Ce critère de pente peut être adapté localement pour les cours d'eau à faible puissance spécifique présentant un risque de non atteinte des objectifs environnementaux ».

L'attribution des ordres de Strahler est directement dépendante de la précision des cartographies du réseau hydrographique utilisées et l'attribution des « véritables » numéros de Strahler nécessite de connaître l'intégralité des cours d'eau existants sur le terrain (OFEV, 2020). L'exhaustivité des cartographies de cours d'eau est rarement atteinte : en 2004, Essen *et al.* ont montré que le réseau hydrographique suédois était deux fois plus long que le réseau cartographié. Parmi les cours d'eau manquants, 90% se situaient dans des bassins versants inférieurs à 15 km<sup>2</sup>.

### 1.1.2. Définition des rangs zéro

A l'extrême amont des TBV, les chercheurs définissent les rangs zéro comme les surfaces présentant des zones de source et où apparaissent les premiers écoulements. Il est important de noter que les quelques études menées sur les rangs zéro s'intéressent au fonctionnement de ces objets en contexte montagneux (BENDA *ET AL.*, 2005 ; GOMI *ET AL.*, 2002 ; GRIEVE *ET AL.*, 2018 ; SHERIDAN ET SPIES, 2005 ; SIDLE *ET AL.*, 2000 ; SIDLE *ET AL.*, 2018 ; TSUKAMOTO ET MINEMATSU, 1987). La littérature concernant les rangs zéro en contexte de plaine est à ce jour quasiment inexistante.

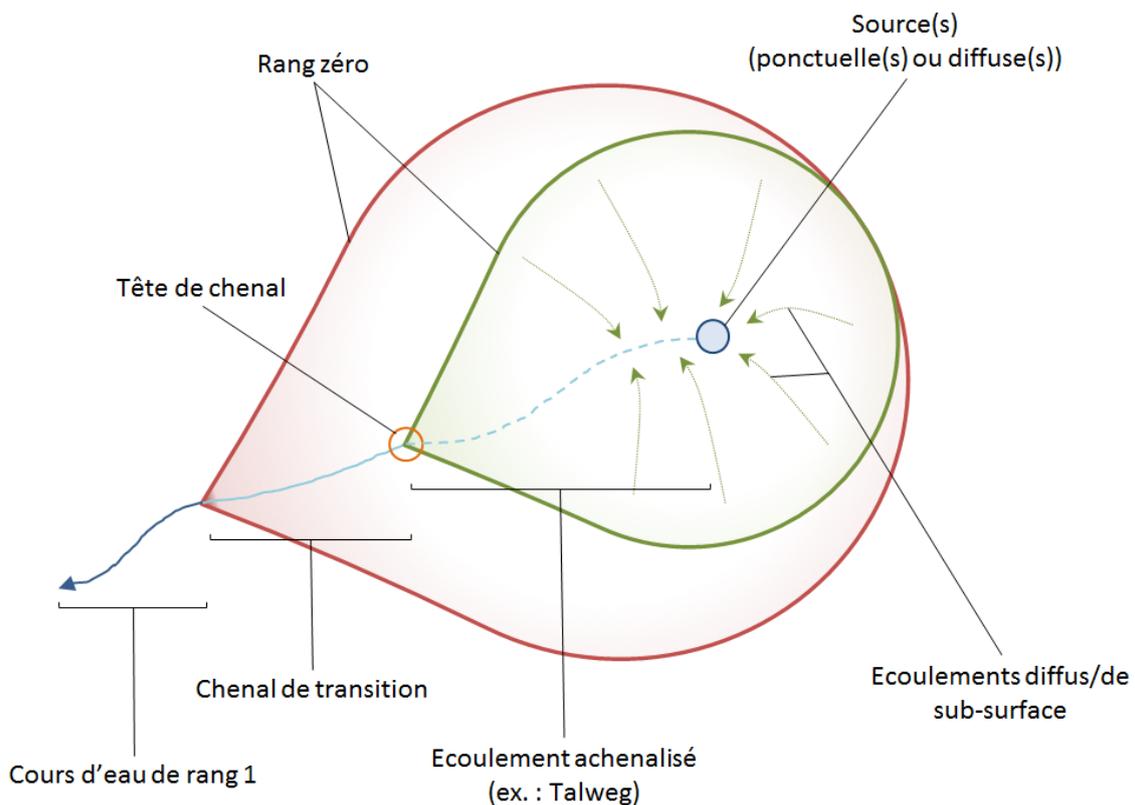
#### *Dans la littérature scientifique*

Les rangs zéro correspondent aux écoulements intermittents ou éphémères sans berges distinctes (dits « achenalisés ») mais qui agissent comme des conduits, des « chenaux » de

drainage d'eau, de sédiments, de nutriments et d'autres matériaux (bois mort par exemple) lors de précipitations ou de la fonte des neiges (BENDA *ET AL.*, 2005 ; GOMI *ET AL.*, 2002 ; MEYER *ET AL.*, 2007 ; RICHARDS, 2004).

Ces flux d'ordre zéro sont parfois appelés « bassins » d'ordre zéro (GOMI *ET AL.*, 2002 ; TSUBOYAMA *ET AL.*, 2000 ; TSUKAMOTO & MINEMATSU, 1987), aussi le terme de rang zéro désigne autant les flux des rangs zéro que le bassin versant qu'ils drainent.

L'exutoire des bassins d'ordre zéro est appelé tête de chenal (Figure 2) et se définit comme un point d'écoulement actif de façon permanente ou bien lors d'événements pluvieux plus ou moins intenses (DIETRICH & DUNNE, 1993). Ce point matérialise la transition entre des écoulements achenalisés et des écoulements chenalés. Les chenaux temporaires (en termes de débit) et/ou discontinus (en termes de stabilité de la forme du lit) qui émergent de ces bassins sont appelés chenaux de transition et raccordent le bassin d'ordre zéro au réseau hydrographique (GOMI *ET AL.*, 2002). Suivant la définition donnée à un cours d'eau à l'échelle internationale, les chenaux de transition peuvent parfois être considérés comme tels et sont alors des cours d'eau de rang 1.



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

Figure 2 : Schéma d'un rang zéro. En vert, la délimitation la plus courante des bassins de rang 0 ; En rouge, la délimitation des rangs zéros selon Sheridan & Spies (2005) ou Storey et al. (2009)

### *Dans la littérature grise*

Dans la littérature grise, à portée généralement plus technique que fondamentale, le terme de rang zéro fait régulièrement référence aux écoulements et aux bassins qui versent directement

dans l'extrémité amont des cours d'eau de rang 1 (SHERIDAN & SPIES, 2005 ; STOREY ET AL., 2009).

### *Dans le SDAGE Loire-Bretagne (2016-2021)*

Selon le SDAGE Loire-Bretagne, les cours d'eau de rang 1 sont caractérisés comme des cours d'eau au titre de la police de l'eau et obéissent donc aux critères dictés par l'article L.215-7-1 du Code de l'environnement : « Constitue un cours d'eau un écoulement d'eaux courantes dans un **lit naturel à l'origine, alimenté par une source** et présentant un **débit suffisant** la majeure partie de l'année ». Ces critères ont donné lieu à la création d'une clé de détermination des cours d'eau présentée en [annexe 1](#) et utilisée pour dresser les cartographies d'inventaire des cours d'eau au titre de la police de l'eau.

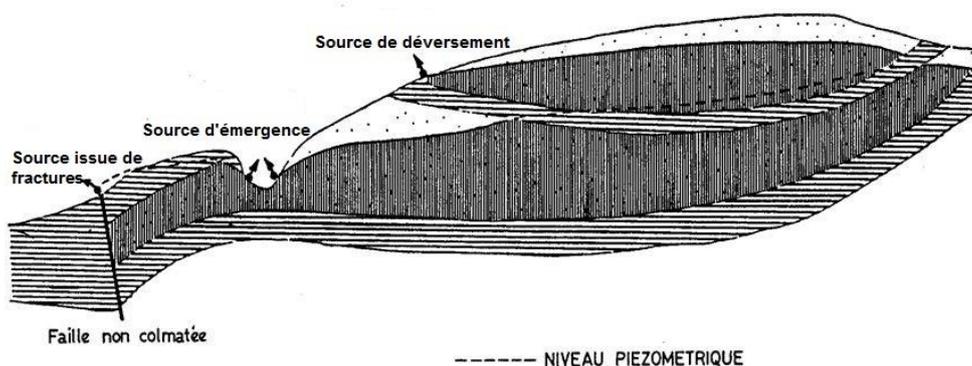
A ce titre, tous les écoulements n'obéissant pas à ces critères à l'amont des cours d'eau cartographiés peuvent être considérés comme appartenant aux rangs zéro.

#### **1.1.3. Les sources, à l'origine des premiers écoulements**

Une source est définie comme une émergence d'eau souterraine provenant d'infiltration d'eau météorique et ayant circulé à travers des terrains poreux, au sein de la porosité structurelle des roches et des sols. Le terme de source s'oppose aux termes de résurgence et d'exurgence qui proviennent d'eaux ayant circulé dans des terrains très poreux comme des réseaux de fissures ou des karsts (MARGAT, 1971).

Suivant la situation de leur point d'émergence, trois types de sources peuvent être distingués (SIGES SEINE-NORMANDIE) ([Figure 3](#)) :

- Les sources de déversement qui se manifestent à flanc de vallée lorsqu'une surface imperméable surmontée d'un aquifère rencontre la surface topographique,
- Les sources d'émergence ou de « talweg » qui se manifestent en fond de vallée lorsque la surface piézométrique intersecte la surface topographique,
- Les sources issues de fractures qui se manifestent à l'intersection entre des fractures en contact avec une formation aquifère et la surface topographique.



**Figure 3 : Schéma représentant les différents types de sources (d'après INP-ENSEEIH, 2005)**

Cependant, l'eau qui alimente les cours d'eau ne provient pas exclusivement de leurs sources principales. Sur des terrains imperméables notamment, ce sont les processus d'infiltration et

de ruissellement ainsi que le soutien des zones humides qui assurent l'approvisionnement des cours d'eau en TBV (MATHIEU, 2010).

L'INSTRUCTION DU 3 JUIN 2015 relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et à leur entretien définit deux types de sources :

- Les sources ponctuelles, situées à l'endroit où la nappe jaillit,
- Les sources diffuses qui se situent à l'exutoire d'une zone humide ou bien au niveau d'un affleurement de nappe souterraine.

#### 1.1.4. La genèse des écoulements : saturation et ruissellement

Dans les BV végétalisés et non-arides, à la suite d'un événement pluvieux, une grande part de l'eau de pluie s'infiltre. L'eau s'écoule en subsurface jusqu'à atteindre les points bas qui se retrouvent saturés en eau. Lorsque la capacité de ces sols à emmagasiner de l'eau est dépassée, l'excès de précipitations commence à ruisseler en surface et participe au débit du ruisseau (WARD ET ROBINSON, 1990). Dans des conditions très humides, les bassins de rang zéro commencent à contribuer au ruissellement de surface (GOMI ET AL., 2002) et se connectent au réseau hydrographique (SIDLE ET AL., 2000).

Lorsque le sol est très humide, les chemins d'écoulements préférentiels de subsurface (la macroporosité du sol) s'élargissent sous la pression exercée par l'eau. Cela améliore considérablement la circulation en subsurface. Dans ces conditions, les écoulements de subsurface participent autant au débit du réseau de cours d'eau que les écoulements de surface (GOMI ET AL., 2002 ; SIDLE ET AL., 2000).

### 1.2. Fonctions des rangs zéro

Les rangs zéro constituent des sous-ensembles des TBV et comportent à ce titre de nombreuses caractéristiques communes à celles-ci. Au sein des rangs zéro, c'est l'ensemble des éléments paysagers (maillage bocager, prairies, forêts, milieux humides, ...) qui participent à l'accomplissement de fonctions diverses (diminution du ruissellement, habitat pour la biodiversité, stockage de carbone). La présente étude s'intéresse principalement à la ressource en eau et aux fonctions essentielles aux cours d'eau en aval, c'est pourquoi par la suite, seules les fonctions associées aux milieux humides (zones humides, chenaux) seront détaillées.

#### 1.2.1. Maintien du régime hydrologique

Au sein des systèmes préservés, les TBV participent à maintenir un régime hydrologique naturel et en adéquation avec les espèces qui les peuplent (POFF ET AL., 1997). Les TBV jouent un rôle important dans la rétention, le transport de l'eau et la régulation des débits notamment grâce aux nombreuses zones humides avec lesquelles elles sont en relation (JANISH ET AL., 2011 ; MC CARTNEY ET AL., 1998). En effet, en période de crue, ces zones humides emmagasinent de l'eau et limitent alors les pics de crue en aval, et déstockent progressivement cette eau en période d'étiage (MEYER ET AL., 2007). Du fait de leur statut d'interface entre milieux terrestres et aquatiques et des zones de source qui s'y trouvent, les rangs zéro sont susceptibles de contenir des zones humides. De ce fait, les fonctions associées

aux zones humides constituent probablement un élément clé parmi les fonctions prodiguées par les rangs zéro.

### 1.2.2. Contrôle des inondations

En conditions naturelles, le lit des cours d'eau est généralement irrégulier et rugueux du fait de la granulométrie, des branches et des végétaux qu'ils peuvent contenir. Cette rugosité et la friction qu'elle engendre participent au ralentissement des écoulements (MEYER ET AL., 2007 ; RICHARDS, 2004), favorisant ainsi l'infiltration de l'eau et la recharge de la nappe (MEYER ET AL., 2007). Concernant les écoulements en rang zéro, la végétation présente à la surface du sol participe également à augmenter la rugosité. Les chenaux d'ordre zéro de faible pente peuvent également jouer un rôle dans la réduction des vitesses et l'atténuation des inondations (TRCA, 2007).

### 1.2.3. Qualité de l'eau

Selon Clinton et Vose (2006), la capacité d'autoépuration des TBV est leur fonction la plus importante. En TBV, la hauteur d'eau est souvent faible et la surface d'interface entre l'eau et son lit est plus importante que dans des cours d'eau d'ordres supérieurs ce qui favorise les échanges avec le lit et la zone hyporhéique (DATRY, 2008). Cependant, les chenaux d'ordre zéro présentent probablement une zone hyporhéique moins développée qu'un cours d'eau et les fonctions qui y sont associées seraient donc moins efficaces. De ce fait, les capacités d'autoépuration des rangs zéro reposent probablement essentiellement sur leurs zones humides.

S'il n'existe pas de recherches à l'heure actuelle sur les capacités autoépuratrices des chenaux de rang zéro, certains faits démontrés sur les TBV peuvent s'y appliquer. Par exemple, la végétation rivulaire, qui est également présente sur les rangs zéro, est reconnue pour favoriser la dénitrification (ORAISON, 2011). La rugosité offerte par la végétation présente dans les chenaux de rang zéro et dans les zones humides favorise le dépôt des particules sur lesquelles s'adsorbe le phosphore (TCRA, 2007). La plupart de l'azote est éliminé de l'eau infiltrée dans les sols de zones humides ou de ripisylves par dénitrification (DAVIDSSON & STAHL, 2000).

### 1.2.4. Erosion et contrôle sédimentaire

La littérature suggère que la rugosité présente dans les chenaux de rang zéro permet de retarder voire d'y piéger l'excès de sédiments (MEYER ET AL., 2007). Certaines études suggèrent que ces zones constituent des sources de sédiments (érosion des berges et des surfaces de pente, glissements de terrain et coulées de boue) (GOMI ET AL., 2002) mais la fourniture est dépendante de facteurs tels que la pente, la surface du BV, le climat, le type de sol et la couverture végétale.

La capacité de transport des sédiments augmente avec la diminution de la taille des particules et l'augmentation de la taille du cours d'eau. Ainsi, les cours d'eau de TBV ont une capacité de rétention de sédiments plus importante que les cours d'eau avals. Dieterich et Anderson (1998) ont montré que les cours d'eau temporaires pouvaient retenir une grande quantité de sédiments fins par filtration dans les sédiments et ont estimé l'abattement de sédiments en suspension oscillant entre 60 et 80% sur 75 m de linéaire.

La quantité de sédiments fins délivrés aux cours d'eau est en partie contrôlée par la nature et la condition de la zone riparienne du cours d'eau de tête de bassin versant qui permettent de réguler les apports par ruissellement et les phénomènes d'érosion (LEIBOWITZ *ET AL.*, 2008 ; MACKENZIE, 2008).

#### 1.2.5. Régulation de la température de l'eau

Beaucoup des petits cours d'eau de TBV sont intermittents en période d'étiage. Pendant ces périodes, les flux sont dominés par les circulations de sub-surface dont le réchauffement est limité pendant la journée et le refroidissement efficace la nuit (JOHNSON, 2004 ; WONDZELL, 2006).

En TBV, les écoulements sont naturellement bordés d'une ripisylve (VANNOTE *ET AL.*, 1980) qui fournit un ombrage. Rutherford *et al.* (2004) ont montré que la différence de température de l'eau entre des tronçons de cours d'eau de rang 2 ombragés et exposés au soleil pouvait être de 4 à 5°C, soulignant ainsi le rôle de la végétation rivulaire.

#### 1.2.6. Biodiversité

Meyer *et al.* (2007) affirment que les TBV sont des écosystèmes d'eaux courantes parmi les plus diversifiés, ceci du fait de leur petit BV et de leur forte sensibilité aux conditions locales. Parmi les études citées, certaines discutent de la diversité en invertébrés aquatiques sur des tronçons de cours d'eau non-cartographiés aux USA. Ainsi Erman et Erman (1995) ont pu montrer la présence de 18 espèces de trichoptères dans une source californienne. McCabe et Sykora (2000) ont observé 13 espèces de trichoptères dans un tronçon de 20 m émergent d'une source des Appalaches. Toujours aux USA et sur des tronçons non-cartographiés, Stout et Wallace (2003) ont montré que le nombre de taxon EPT (Ephéméroptère, Plécoptère, Trichoptère ; indice censé refléter la qualité de l'eau) débute à 3 au niveau de la source pour se stabiliser à 11 à 350 mètres de la source suggérant une diversité importante au sein des rangs zéro. Sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire, l'étude de Bouas (2016) a pu mettre en évidence des richesses taxonomiques importantes en EPT (jusqu'à 12) sur des tronçons de rang 1 en situation de référence.

Les bryophytes dominent parmi les producteurs primaires en TBV car elles apprécient ces milieux souvent riches en dioxyde de carbone. Elles favorisent la présence de nombreuses espèces d'invertébrés (STREAM BRYOPHYTE GROUP, 1999). D'autre part, certaines espèces d'algues ont été caractérisées comme endémiques des TBV et plus particulièrement des zones de source (SHERWOOD *ET AL.*, 2000).

Les TBV participent à soutenir les écosystèmes voisins et aval du fait de leur forte productivité primaire et de l'activité des décomposeurs qui rendent disponible la matière organique à l'aval (MEYER *ET AL.*, 2007B)

Cependant, d'après Gomi *et al.* (2002), les chenaux temporaires (4 à 5 mois d'écoulements discontinus/an) ou éphémères (quelques jours/an) émanant des bassins de rangs zéro ne coulent pas suffisamment longtemps pour permettre aux stades juvéniles des macroinvertébrés aquatiques d'effectuer leur cycle de développement. Dans ces zones, les invertébrés terrestres sont plus représentés que les invertébrés aquatiques.

Les TBV et leurs zones humides présentent des habitats intéressants pour les amphibiens (PETRANKA, 1998). En effet, ces zones sont souvent dépourvues de poissons prédateurs (JOHNSON *ET AL.*, 2009) et présentent une diversité importante d'insectes (DIETERICH & ANDERSON, 2000) nécessaires à l'alimentation des amphibiens.

### 1.3. Pressions sur les rangs zéro

#### 1.3.1. Des milieux vulnérables

Les TBV sont des milieux très sensibles aux altérations du fait de leur grande dépendance aux conditions locales et de leur faible capacité de résilience (MEYER *ET AL.*, 2007A). Les pressions que ces milieux subissent sont reconnues pour être majoritairement d'origine anthropique (HENNER, 2013). L'abondance des TBV, leurs grandes aires d'alimentation et leurs faibles débits les exposent à de forts risques de transfert ou de pollution (CHOUCARD, 2011). De plus, leur petite taille en font des systèmes faciles à combler ou à drainer (STOREY *ET AL.*, 2009). Si les cours d'eau en TBV sont parfois cartographiés et caractérisés comme cours d'eau, les zones de sources et rangs zéro sont absents des inventaires et ne bénéficient souvent d'aucune protection. Il est probable que l'absence de reconnaissance de ces zones les soumette d'autant plus facilement aux pressions que l'Homme applique à son environnement.

#### 1.3.2. Synthèse des pressions

Une synthèse des pressions susceptibles d'être rencontrées au sein des rangs zéro et de leurs effets délétères sur les milieux est présentée dans le [Tableau 1](#) : Pressions susceptibles d'être observées sur les rangs zéro.

#### 1.3.3. Réglementation existante

Du fait de leurs caractéristiques intrinsèques (chenaux transitoires/éphémères, absence de lit marqué), les rangs zéro ne peuvent pas bénéficier de la protection associée aux cours d'eau. Par ailleurs, ils ne bénéficient d'aucun statut juridique spécifique. En revanche, certains milieux constitutifs des rangs 0 (zone humide, haie, forêt, ...) sont protégés au titre de plusieurs réglementations. Cependant, la petite taille de ces systèmes pris individuellement peut faire passer les travaux réalisés (remblai, assèchement, drainage) sous les seuils définis par la loi, écartant les rangs zéro de la majorité des formes de protection existantes.

#### *Dans le code de l'environnement (CE)*

Les articles L.211-1 et L.211-1-1 du CE protègent les zones humides en imposant la mise en place d'une gestion équilibrée de la ressource en eau et des milieux aquatiques. L'article L.211-1 du CE donne une définition réglementaire de la zone humide : « les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

Les SDAGE et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) mettent en place les dispositions nécessaires pour satisfaire aux articles L.211-1 du CE. Ils sont en mesure de recenser les zones humides et de les protéger. Une fois adopté, le SDAGE et/ou le SAGE est opposable à toutes personnes pour l'exécution d'Installations, d'Ouvrages, de Travaux et d'Activités (IOTA) relevant de la nomenclature eau (art. L.214-1 du CE et

Tableau 1 : Pressions susceptibles d'être observées sur les rangs zéro

Pression	Sous-pression	Conséquences	Références bibliographiques
Tous milieux	Création de plans d'eau*	Destruction des milieux où le plan d'eau est implanté Augmentation des températures en aval Modification du taux d'oxygène et départ de matières en suspension (MES) lors des vidanges (mortalité de poissons etc, colmatage, banalisation des habitats) Perte de débit par évaporation et prélèvement Rupture ou perturbation des continuités écologique et sédimentaire Introduction d'espèces	Jeanneau & Le Bihan, 2018
	Pollutions ponctuelles et diffuses*	Augmentation des concentrations en nitrates, phosphore et produits phytosanitaires accrus Diminution de la richesse spécifique	Henner, 2013 ; Hurst & Sheahan, 2003
Urbanisation et infrastructures	Imperméabilisation	Destruction des écosystèmes aquatiques Augmentation du ruissellement (à-coups hydrauliques, inondations, érosion) Réduction de l'infiltration (moins de recharge des nappes sous-jacentes) Modification du régime hydrologique	Paul and Meyer, 2001 ; White <i>et al.</i> , 2006 ; Blackport <i>et al.</i> , 1995 ; Burns <i>et al.</i> , 2005
	Infrastructures linéaires (routes, chemin de fer, ...)	Modification des bassins versants Modification/destruction des lits mineurs des cours d'eau et des zones humides Altération de la continuité écologique amont-aval Risques de pollution accidentelle (transport de matières dangereuses, produits d'entretien, ...) Augmentation des risques de transfert de MES à l'aval Augmentation des risques d'inondation Perte d'usage sur la ressource en eau à l'aval (rabattement de nappe, détournement des eaux superficielles, ...)	Flörke <i>et al.</i> , 2018 ; METATM, 2004 ; Branchu <i>et al.</i> , 2013
Sylviculture	Enrésinement*	Acidification de l'eau et réduction de l'activité biologique Erosion plus importante des sols lors des crues et production de MES Si implantées en bordure de cours d'eau, peuvent provoquer d'importantes érosions des berges	Morelle, 2007 ; Mols <i>et al.</i> , 2007 ; Schneider, 2007
	Passage d'engins liés à la sylviculture*	Dégradation du milieu/des habitats Risques de pollutions accidentelles	Kreutzweiser <i>et al.</i> , 2009
	Peupleraies*	Déstabilisation des berges Capacités épuratoires inférieures à celles d'une ripisylve diversifiée Libération de composés toxiques lors de la dégradation des feuilles Asphyxies des strates inférieures, colmatage et envasement du fait d'un feuillage difficilement dégradé Dégradation de zones humides où elles sont souvent implantées	Henner, 2013 ; Lauthe, 2012
	Drainage (souterrain et superficiel)*	Diminution du temps de réponse Augmentation des débits de pointe en période de crue Déstructuration des berges Incision du lit mineur Augmentation du risque d'inondation Assèchement de zones humides	Rycroft & Massey, 1975 ; Leduc, 1990
Agriculture	Dégradation du maillage bocager et des ripisylves*	Diminution de l'efficacité des fonctions du bocage (qualité de l'eau, rôle tampon sur le ruissellement, ...) Dégradation/suppression d'habitats pour la biodiversité	Viaud & Thomas, 2019
	Piétinement de berge par le bétail*	Augmentation des apports en éléments nutritifs au cours d'eau Altération de la végétation en berge Compaction du sol et effondrement des berges (départ de MES dans le cours d'eau et colmatage)	Armour <i>et al.</i> , 1991 ; Belsky <i>et al.</i> , 1999 ; del Rosario <i>et al.</i> , 2002 ; Sweeney <i>et al.</i> , 2004

\*Pressions relevées sur le terrain, voir 2.4.2.1

suivants). Les IOTA en projet nécessitent, en amont de la réalisation des travaux, le dépôt d'un dossier loi sur l'eau (déclaration ou autorisation selon la rubrique de la nomenclature eau et les seuils concernés) et doivent attester, entre autre, de leur concordance avec les objectifs définis par le SDAGE et le SAGE concernés.

Au sein de la nomenclature eau, la rubrique 3.3.1.0 protège notamment les ZH en soumettant à déclaration le remblai, la mise en eau, l'assèchement ou l'imperméabilisation des ZH de surface comprise entre 0,1 et 1 ha et à autorisation pour celles dépassant 1 ha. La réalisation de réseaux de drainage est également soumise à déclaration lorsque la superficie drainée est comprise entre 20 et 100 ha et à autorisation si celle-ci est supérieure à 100 ha.

## 1.4. Étiage, intermittence et réseau ONDE

### 1.4.1. Définitions

#### *Les étiages*

En 1996, Dacharry définit l'étiage comme le débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières, même s'il en est l'exacerbation. Sur le territoire de l'étude, les étiages surviennent généralement du mois d'août au mois de septembre, mais les régions montagneuses peuvent être soumises à des étiages hivernaux. La dynamique des étiages est lente et leurs causes sont parfois difficiles à identifier (LANG DELUS, 2011). Les étiages sévères peuvent mener au tarissement total du cours d'eau, celui-ci est alors en assec.

#### *L'intermittence*

Un cours d'eau intermittent est un cours d'eau qui cesse de s'écouler pendant les périodes sèches. Leurs apports en eau peuvent provenir de sources, d'eaux souterraines et parfois de nappes perchées (CABLE RAINS ET AL., 2006).

### 1.4.2. Impact des étiages sur les écosystèmes cours d'eau

Selon Snelder *et al.* (2013), 25 à 45% du linéaire total de cours d'eau français est intermittent. Ces chiffres ne tiennent pas compte des petits cours d'eau en TBV qui sont pourtant particulièrement concernés par l'intermittence (LOWE ET LIKENS, 2005). En les incluant, Datry *et al.* (2014A) estiment cette proportion à 50%. Au cours du prochain siècle, le nombre et le linéaire de cours d'eau temporaires devrait augmenter en conséquence du changement climatique et des demandes croissantes en eau (LARNED ET AL., 2010). Des analyses de chroniques de débits dans plusieurs régions du monde montrent une tendance au déclin des débits des cours d'eau (CIGIZOGLU ET AL., 2005 ; PASQUINI & DEPETRIS, 2007 ; RENARD, 2006 ; ZHANG ET AL., 2005).

Les étiages engendrent globalement 5 conséquences (NOWAK, 2016) :

- La fragmentation des milieux aquatiques : le cours d'eau se fragmente en cuvettes déconnectées les unes des autres formant des obstacles infranchissables pour la faune aquatique ;
- L'élévation de la température : les réductions de la vitesse et de la hauteur de la lame d'eau augmentent la sensibilité des cours d'eau à l'ensoleillement. Des équilibres

physico-chimiques et biologiques sont alors modifiés : l'oxygène dissous diminue, des cyanobactéries peuvent proliférer ;

- La modification de la qualité physico-chimique de l'eau : par évaporation, les polluants se concentrent et altèrent la qualité de l'eau. De plus, l'élévation de la température peut favoriser la libération de polluants depuis les sédiments ;
- La modification de la végétation aquatique : la diminution du débit et de la hauteur de la lame d'eau peut favoriser la prolifération de végétaux aquatiques dans le lit. A l'inverse, un assec peut engendrer la disparition de la végétation aquatique du lit ;
- L'assèchement des linéaires : l'assèchement des cours d'eau et de leurs annexes hydrauliques peut survenir et provoquent des mortalités de poissons ou de toute faune aquatique stricte.

### 1.4.3. Le réseau ONDE

.Le réseau de l'Observatoire National Des Etiages (ONDE) est constitué de 3300 stations déployées sur toute la France métropolitaine. Ces stations sont majoritairement placées en TBV et permettent de surveiller les étiages estivaux sur des stations subissant des assèchs d'origine naturelle et anthropique.

Le réseau vise d'une part à constituer un réseau de connaissance représentatif des situations hydrographiques, stable dans le temps, non-redondant avec les suivis existants (notamment les stations de jaugeage du réseau HYDRO), et permettant le suivi des phénomènes d'étiages estivaux et de leur fréquence d'apparition. Les données recueillies doivent ainsi permettre d'améliorer la compréhension des phénomènes d'étiage, des relations entre nappe et rivière et entre hydrologie et biologie. D'autre part, le réseau ONDE constitue un réseau de surveillance et d'appui à la gestion de crise lors des sécheresses. Il permet notamment d'anticiper ces événements et d'adapter localement les usages de l'eau, notamment par la mise en place d'arrêtés sécheresse.

Le protocole consiste à caractériser l'écoulement au niveau de la station selon trois modalités :

- Ecoulement visible : l'écoulement est permanent et visible à l'œil nu ;
- Ecoulement non-visible : le lit mineur présente toujours de l'eau mais le débit est nul ;
- Assec : l'eau est totalement évaporée ou infiltrée sur plus de 50% de la station.

Le protocole est déployé de manière systématique de mai à septembre au plus proche du 25 de chaque mois (plus ou moins deux jours). Ce suivi est appelé suivi usuel. Un suivi complémentaire peut être mis en place afin d'améliorer la surveillance de situations jugées sensibles ou sur demande des préfets lors d'épisodes de sécheresses. Ce dernier est réalisé en dehors des dates de suivi usuel.

## 2. Matériel et méthode

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

#### *Aire d'étude*

D'une superficie de 59 730 km<sup>2</sup>, les régions Bretagne et Pays de la Loire regroupent près de 76 000 km de cours d'eau (selon la BD CARTHAGE) répartis sur 9 départements : l'Ille-et-Vilaine (35), les Côtes d'Armor (22), le Finistère (29), le Morbihan (56), la Loire-Atlantique (44), la Vendée (85), la Mayenne (53), la Sarthe (72) et le Maine-et-Loire (49).

#### *Pluviométrie*

La moyenne pluviométrique annuelle sur ces départements est de 812 mm/an  $\pm$  169 (données Météo France de 2011 dans JAN, 2013). Les plus grandes valeurs de pluviométrie sont observées dans le Finistère (1203 mm), la Vendée (901 mm) et le Morbihan (898 mm).

#### *Occupation du sol*

L'occupation des sols sur le territoire BPDFL est dominée nettement par l'agriculture (64%). Les prairies et forêts représentent également une surface importante (respectivement 21 et 9%) (données Corine Land Cover 2012 simplifiées) (Figure 4).

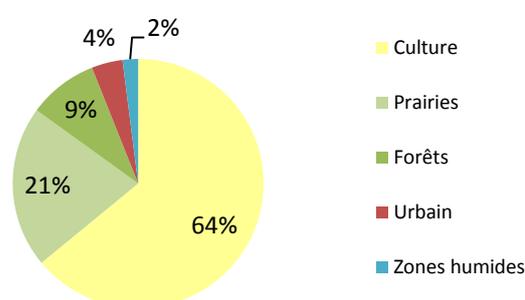


Figure 4 : Occupation du sol sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire (données Corine Land Cover simplifiées)

#### *Hydroécotérrégions*

L'approche par hydroécotérrégions permet de délimiter des entités géographiques dans lesquelles les cours d'eau présentent des caractéristiques communes (WASSON ET AL., 2004). Cette approche est basée sur la géologie, le relief et le climat. Ici, le territoire recouvre 2 hydroécotérrégions de type 1 (« Massif Armoricaïn » et « Tables calcaires ») et 7 hydroécotérrégions de type 2 (Figure 5).



Figure 5 : Les hydroécotérrégions sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire

### 2.2. Cartographie des rangs zéro à l'échelle du territoire Bretagne-Pays de la Loire

L'un des objectifs de l'étude consiste à estimer le nombre et la densité de rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire. **Le choix a été fait de considérer comme rang zéro le bassin versant alimentant les extrémités amont des cours d'eau cartographiés** à l'image de Storey *et al.* (2009) et Sheridan & Spies (2005). Pour ce faire, deux référentiels de réseaux hydrographiques ont été considérés :

- Les cartographies d'inventaires des cours d'eau au titre de la police de l'eau (CEP)
- La BD TOPAGE

La BD TOPAGE est un référentiel issu de l'appariement de la BD TOPO et de la BD CARTHAGE en production depuis 2017 et disponible depuis début 2020. Les CEP constituent un référentiel mis en place suite à l'INSTRUCTION DU GOUVERNEMENT DU 3 JUI 2015 relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et à leur entretien. Chacun de ces référentiels présente des avantages et des inconvénients vis-à-vis de leur exploitation par un logiciel de cartographie (QGIS) (Tableau 2).

La cartographie des rangs zéro nécessite de détecter et de matérialiser par un point chaque extrémité amont du référentiel hydrographique. Ce travail a été réalisé avec les deux référentiels décrits ci-dessous.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des référentiels hydrographiques

Référentiel	Avantages	Inconvénients
<b>CEP</b>	<b>Exhaustivité</b> : Référentiel issu de prospections sur le terrain ou d'échantillonnages donc plus complet, notamment sur les TBV	<b>Discontinuités et doublons</b> : Les CEP présentent des erreurs de géométrie (doublons et discontinuités) dans le réseau qui complexifient leur exploitation sous SIG  <b>Hétérogénéité</b> : Les départements ayant le choix de se doter d'une cartographie complète ou progressive <sup>1</sup> des cours d'eau, l'information à l'échelle du territoire d'étude n'est pas homogène. Ce référentiel est en évolution constante et est actualisé tous les ans, l'avancement n'est donc pas le même dans tous les territoires. De plus, l'effort d'échantillonnage a pu être différent en fonction des départements.
<b>BD TOPAGE</b>	<b>Continuité</b> : Le réseau respecte la continuité des écoulements, même au travers des plans d'eau <b>Sens d'écoulement</b> : Les tronçons du réseau respectent le sens d'écoulement <b>Normalisation</b> : La BD TOPAGE a l'avantage d'être d'une précision identique sur tout le territoire	<b>Non-exhaustivité</b> : La BD TOPAGE souffre des lacunes de ses deux contributeurs et présente en particulier des manques importants sur les cours d'eau en TBV et sous couvert forestier (ONEMA, IGN, 2015)

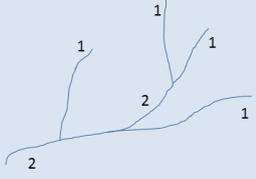
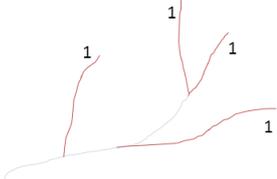
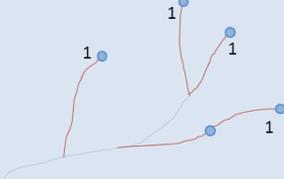
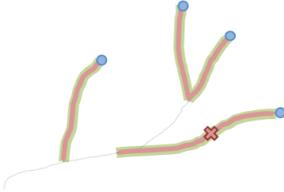
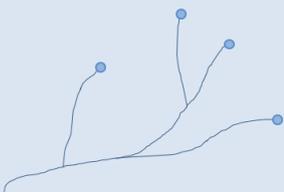
### 2.2.1. Méthode d'extraction des exutoires de R0 à partir de la BD TOPAGE

L'extraction des exutoires de rangs zéro a été effectuée à l'aide du logiciel QGIS 3.4.5. Le logiciel OpenJump a également été utilisé pour l'attribution des rangs de Strahler. La méthode repose sur l'exécution de la chaîne de traitement décrite dans le Tableau 3.

La continuité des écoulements, représentée par la continuité des lignes sous SIG, est le paramètre le plus limitant pour l'application de cette méthode. La moindre discontinuité génère des artefacts difficiles à identifier et/ou à supprimer.

<sup>1</sup> En Bretagne, la cartographie dite complète est présente dans les territoires où l'ensemble du réseau hydrographique est issu d'inventaires locaux. Dans les secteurs où ces inventaires n'ont pas pu être réalisés partout, les lacunes sont complétées par des référentiels existants (BD TOPO®, BD CARTHAGE®, SCAN25, couche Talweg), et la cartographie y est dite progressive.

Tableau 3 : Chaîne de traitements pour l'extraction des exutoires de rangs zéro à partir de la BD TOPAGE

Traitement	Outil	Résultat	Schéma
<p><b>Etape 1 :</b></p> <p>Ordination du réseau hydrographique selon la méthode de Strahler</p>	OpenJump	Obtention d'un réseau ordiné	
<p><b>Etape 2 :</b></p> <p>Extraction des tronçons de rang 1 (gain de temps de traitement)</p>	Extraction par attribut	Obtention de l'ensemble des tronçons de rangs 1 indépendants	
<p><b>Etape 3 :</b></p> <p>Extraction des extrémités des tronçons de rang 1</p>	<p>Ajout des champs X et Y et application des fonctions xat(0) et yat(0)</p> <p>Créer une couche de points à partir d'un champ</p>	Obtention d'une couche de points correspondant aux extrémités amont de tous les tronçons de rang 1, y compris celles des tronçons qui ne sont pas en extrémité de réseau	
<p><b>Etape 4 :</b></p> <p>Elimination des « fausses » extrémités (apparaissent lorsque 2 tronçons de rang 1 sont bout-à-bout)</p>	<p>Fusionner les entités (fusion des tronçons de rang 1)</p> <p>Tamponnage de la couche fusionnée à 10 m avec bout plat (en vert)</p> <p>Tamponnage négatif à -1m du précédent tampon (en rouge)</p> <p>Extraction par localisation des points situés dans le second tampon et suppression</p>	Obtention d'une couche contenant uniquement les extrémités amont des rangs 1 (les exutoires des rangs zéro)	
<p><b>Etape 5 :</b></p> <p>Validation des données et nettoyage des extrémités « artefacts » dues au découpage de la BD TOPAGE par département</p>	Nettoyage manuel point par point aux limites départementales intra-territoire	Obtention d'une couche de points correspondant aux exutoires des rangs 0	

### 2.2.2. Méthode d'extraction des exutoires de R0 à partir des CEP

La méthode d'extraction est semblable à la méthode utilisée sur la BD TOPAGE. Cependant, les erreurs de géométrie (doublons et discontinuités) empêchent la réalisation de certaines étapes et obligent à effectuer des corrections.

Les discontinuités empêchant de réaliser l'ordination du réseau via OpenJump, la méthode précédente a été appliquée à partir de l'étape 3 et jusqu'à l'étape 5. La couche obtenue contient un nombre surévalué de points du fait des discontinuités et des tronçons de cours d'eau présents en doublon dans les CEP. Afin d'affiner ce résultat, un certain nombre de corrections ont été semi-automatisées et leurs fiabilités (probabilité qu'une correction efface un point n'étant pas l'exutoire d'un rang zéro) testées par l'échantillonnage aléatoire de 100

points par département (Tableau 4). En effet, ces corrections sont susceptibles d'éliminer des points correspondants à des exutoires de rang zéro.

Tableau 4 : Traitements correctifs appliqués pour l'extraction des exutoires de rang zéro à partir des CEP

Correction	Traitement	Fiabilité
Effacement des doublons	Supprimer les géométries dupliquées	100%
Effacement des points générés par les micro-discontinuités	Effacement des points présentant plus d'un point (autre que lui-même) dans un rayon de 1 mètre autour d'eux	85%
Effacement des discontinuités le long des tronçons TOPAGE	Comparaison des CEP avec TOPAGE et effacement des points se situant dans une bande de 5 mètres de part et d'autre des tronçons TOPAGE	100%
Effacement des macro-discontinuités	Effacement des points présentant plus d'un point (autre que lui-même) dans un rayon de 10 mètre autour d'eux.	82,5%
Effacement des extrémités générées sur le littoral du fait du non-respect du sens des écoulements dans les CEP	Effacement des points situés dans une bande de 10 mètres autour de la limite terre-mer	100%

### 2.3. Sélection des stations

Les rangs zéro échantillonnés sont situés sur les BV de stations du réseau ONDE. Sur l'ensemble du territoire Bretagne-Pays de la Loire, le réseau ONDE est doté de 282 stations. Les BV de stations ONDE à prospector ont donc été sélectionnés selon une série de critères exposés dans le Tableau 5. La sélection des stations a été effectuée dans l'objectif d'étudier les rangs zéro au sein des deux régions. Du fait des restrictions de déplacements dues à la situation sanitaire et des difficultés sur le plan cartographique (2.4.1.), l'étude initialement prévue sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire a été réalisée sur la région Bretagne.

Tableau 5 : Critères pour la sélection des BV des stations ONDE

Objectif	Description du paramètre	Critère associé
Représentativité de chaque département	Code département	4 stations par département
Nombre (raisonnable) de R0 sur le BV ONDE pour pouvoir échantillonner un BV ONDE en une journée ou 1,5 journée	Nombre de rangs zéro sur la station	Supérieur à 0 ; Inférieur ou égal à 20
Temps de terrain adapté à la durée du stage	Nombre de jours de terrain estimé	Total inférieur à 45 jours sur l'ensemble des stations
Représentativité des sensibilités aux étiages sur le territoire	Pourcentage d'assec : pourcentage des observations où la station est en assec pendant les campagnes usuelles ONDE depuis la mise en service de la station <sup>2</sup>	2 stations tombant en assec par département (sauf Finistère <sup>3</sup> ) 2 stations ne tombant pas en assec par département (sauf Finistère <sup>3</sup> → 4)
Représentativité de l'occupation des sols	Typologie d'occupation du sol à 6 niveaux par GUILLERME, 2015 (Annexe 2)	Respect des proportions en nombre de stations par type d'occupation du sol (GUILLERME, 2015) sur l'ensemble des stations <sup>4</sup>

<sup>2</sup> (Nombre de mois en assec depuis la mise en service de la station / Nombre de mois cumulé de toutes les campagnes usuelles depuis la mise en service de la station)\*100.

<sup>3</sup> Depuis leur mise en place, les stations du réseau ONDE du Finistère n'ont enregistré aucun assec.

<sup>4</sup> Exemple : 50% du territoire d'étude est de type culture → 50% des BV de stations ONDE sélectionnés sont de type culture.

## 2.4. Protocole d'échantillonnage des rangs zéro

### 2.4.1. Digitalisation des BV de rang zéro

La délimitation des BV des rangs zéro est indispensable pour leur caractérisation sous SIG. Le calcul de BV peut s'effectuer à la main à partir de cartes topographiques ou via une série de traitements sur un logiciel de SIG.

Sous SIG, les calculs de BV s'effectuent couramment à partir de modèles numériques de terrain (MNT) à résolution de 25 mètres. Cependant, la précision des modélisations d'écoulements effectuées à partir des MNT à 25 m ne paraît pas suffisante pour calculer des BV fiables et génère de nombreux BV incohérents, notamment en TBV (Figure 6).

Une autre approche possible est celle de la digitalisation manuelle. Celle-ci a été testée à partir des courbes de niveaux à 10 m des cartes IGN 1:25 000. Outre le temps conséquent nécessaire à la digitalisation manuelle des BV, cette approche a l'inconvénient de présenter des biais opérateur importants.

La dernière approche, et celle qui a été conservée, est le calcul à partir de MNT à résolution de 5 m. La couverture du territoire Bretagne-Pays de la Loire en MNT à 5 m est quasi-totale (environ 95%).

Il est à noter qu'il existe de nombreux écarts entre les écoulements théoriques modélisés à partir des MNT (réseau de points bas ou talwegs) et la réalité du tracé des cours d'eau sur le terrain. Cela provient notamment des modifications apportées au réseau hydrographique par l'Homme, les cours d'eau ne circulant alors pas tous dans leur talweg. La digitalisation des BV de rang zéro est donc effectuée en deux fois au cours de l'étude : une première fois avant le terrain pour faciliter et guider l'échantillonnage de la zone, et une seconde fois après le terrain afin d'adapter le BV aux écoulements réels constatés sur le terrain.

Pour l'application du protocole de terrain et la caractérisation des rangs zéro des stations sélectionnées par SIG, les exutoires utilisés pour le calcul des BV de rang zéro ont été extraits à partir des CEP. La méthode employée est analogue à celle qui est présentée en 2.2.1 mais comprend une étape de validation manuelle supplémentaire afin de gommer les erreurs



Figure 6 : Calcul du BV du lieu-dit de Kervilgoch à la Roche-Jaudy (22) selon les trois méthodes envisagées. De gauche à droite : MNT 25m, manuelle, MNT 5m

discutées plus haut (Tableau 2).

## 2.4.2. Collecte des informations sur les stations

### 2.4.2.1. Collecte des données sur les milieux humides en connexion avec le rang 1

Cette partie du protocole s'effectue sur le terrain et permet de décrire les milieux humides et les pressions présents sur le rang zéro. L'échantillonnage d'un rang zéro est réalisé en une durée de 5 minutes à 1h 50 minutes (20 minutes en moyenne) selon l'accessibilité et la complexité du site.

#### ***Positionnement de l'exutoire du rang zéro***

Les exutoires de rang zéro extraits à partir des CEP n'obéissent pas tous à la définition donnée par les scientifiques, à savoir le point de transition entre écoulements achenalisés et chenalisés. Cependant, dans un souci de cohérence, c'est bien l'amont des CEP qui a été considéré comme l'exutoire du rang zéro. Lorsque ce point n'est pas exactement placé sur le cours d'eau (du fait d'approximations de la cartographie), c'est l'exutoire perçu lors de la phase terrain qui est pointé avec un GPS. Ces corrections excèdent rarement la dizaine de mètres.

Il est important de préciser que l'objectif de l'étude n'est pas de compléter ou de modifier les cartographies définies lors des inventaires. En effet, le protocole d'inventaire pour la constitution des CEP peut nécessiter plusieurs passages dans l'année et n'est appliqué qu'en l'absence de précipitations dans les 8 derniers jours.

Affiner la position de l'exutoire du rang zéro sur le terrain permet d'avoir une meilleure représentation des rangs zéro selon les définitions scientifiques disponibles actuellement et facilite le calcul des BV de rang zéro après la phase terrain.

#### ***Distinction rang zéro et zone de source***

Dans certains cas, l'amont du réseau hydrographique cartographié semble placé très haut sur le versant et le rang 1 cartographié ne semble pas remplir tous les critères définissant un cours d'eau (INSTRUCTION DU 3 JUIN 2015). Dans ces conditions, la zone étudiée est dénommée « zone de source » et non rang zéro.

#### ***Description du rang 1***

Les écoulements sont caractérisés selon le protocole ONDE au niveau de l'exutoire de chaque rang zéro. La température, le pH et la conductivité sont mesurés à l'exutoire également. Les dimensions (largeur et profondeur à plein bord (Hpb et Lpb)<sup>5</sup>) ainsi que le tracé sont relevés sur le premier segment morphologiquement homogène<sup>6</sup> du rang 1.

Les paramètres nécessaires au calcul de l'indice d'artificialisation du lit mineur à l'échelle du segment proposé par Le Bihan (2020) sont relevés (annexe 3) :

---

<sup>5</sup> Le plein bord correspond à la hauteur d'eau juste avant que le lit mineur déborde dans la plaine d'inondation. Le calcul des paramètres hydromorphologiques à plein bord permet la caractérisation d'une station et la comparaison des stations entre elles (GOB ET AL., 2014).

<sup>6</sup> Tronçon homogène du point de vue de sa morphologie selon les 5 critères suivants : talweg, profil en long, tracé en plan (sinuosité), profil en travers, occupation du sol. Tout changement de l'un de ces paramètres engendre un changement de tronçon (WASSON ET AL., 1998).

- Positionnement du cours d'eau dans son talweg
- Classe de sinuosité
- Classe d'évolution morphodynamique (d'après SIMON, 1989)
- Protection des berges/enterrement
- Rugosité (d'après CHOW, 1959)

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

$$IA\_SEGM\_lm = (\Sigma (Italweg + Isinuosité * 2 + Icem * 2 + Irugosité + Icouverture))/7$$

L'interprétation de l'indice s'effectue selon la grille présentée dans le [Tableau 6](#).

**Tableau 6 : Grille de lecture de l'indice d'artificialisation du lit mineur à l'échelle du segment (d'après Le Bihan, 2020)**

Type d'artificialisation par segment	Description	Valeur d'indice
Cours d'eau de « référence »	Modification du lit mineur négligeable	$i = 0$
Cours d'eau naturel	Modification du lit mineur faible	$0 < i < 0.25$
Cours d'eau semi-artificiel	Modification du lit mineur sensible	$0.25 < i < 0.5$
Cours d'eau artificiel	Modification du lit mineur moyenne	$0.5 < i < 0.75$
Cours d'eau très artificiel	Modification du lit mineur importante	$0.75 < i < 1$
Cours d'eau enterré / Plan d'eau en barrage	Modification du lit mineur absolue	$i = 1$

### *Description des milieux humides*

Les milieux humides observés en connexion directe avec l'amont du rang 1 sont décrits. Ces milieux humides comprennent toutes les formes d'écoulements de surface visibles, les sources ponctuelles ou diffuses et les plans d'eau. Chaque élément fait l'objet d'un relevé GPS de son tracé ou de son emplacement. L'ensemble de l'organisation du site est reproduite schématiquement de façon à faciliter l'exploitation des données GPS et permet de corriger les éventuelles imprécisions générées lors des relevés GPS.

Cinq types d'écoulement peuvent être caractérisés : (clé disponible en annexe 4) :

- Cours d'eau éphémère<sup>7</sup>
- Chenal de transition
- Talweg marqué
- Talweg
- Fossé
- Autre (associé à une description)

Leurs dimensions (Lpb et Hpb) sont relevées.

### *Le cas particulier des réseaux de drainage forestier*

En contexte forestier, les réseaux de drainage peuvent être extrêmement denses et couvrir de grandes surfaces. Par conséquent, les réseaux de drainage en milieu forestier ne sont pas systématiquement cartographiés de manière exhaustive. Au sein de l'une des stations visitées (forêt du Mesnil, Mesnil-Roc'h (35)), les drains ont été cartographiés dans l'objectif d'estimer

<sup>7</sup> En France, ces cours d'eau éphémères, ne coulant pas la majeure partie de l'année, ne sont pas considérés comme des cours d'eau au titre de la police de l'eau.

la densité de drainage en contexte forestier. Les autres stations forestières sont cartographiées sur environ 500 à 1000 mètres.

### **Relevé des pressions et habitat EUNIS**

Une partie des pressions présentées dans la 1.3.2 sont recherchées et relevées dans une bande de 10 mètres autour des milieux humides observés. Cette largeur de 10 mètres est souvent évoquée comme la largeur optimale d'une ripisylve pour l'accomplissement de ses fonctions épuratoires (abattement des nitrates, du phosphore et des produits phytopharmaceutiques) (CORPEN, 2008 ; ORAISON ET AL., 2011). Budd *et al.* (1987) ont montré qu'un cordon rivulaire de 11 mètres permet l'accomplissement de fonctions vis-à-vis de la qualité de l'eau, du contrôle de la température et de la fourniture d'habitats aquatiques. C'est donc dans un espace tampon minimum de 10 mètres autour des milieux humides que les pressions sont caractérisées. Dans cette zone tampon, les habitats sont caractérisés à l'aide de la classification EUNIS niveau 3.

#### **2.4.2.2. Collecte des données sous SIG**

Les traces et points GPS récupérés sur le terrain sont importés et réorganisés sous Qgis. Les données extraites via SIG ne provenant pas des informations relevées sur le terrain sont issues de 3 référentiels présentés dans le Tableau 7.

#### **Occupation du sol**

Le référentiel Corine Land Cover n'a pas été utilisé car il n'est pas assez précis à l'échelle des BV de rang zéro. Son utilisation est réservée à une visualisation au 1:100 000.

Les données des référentiels de type vecteur sont extraites par BV de rang zéro (fonction Qgis : intersection). Les données concernant les infrastructures linéaires (routes et chemins) sont converties en surfacique par l'application d'un tampon à distance variable basé sur le champ « largeur » contenu dans la table d'attribut. Cette conversion est effectuée seulement pour les routes couvertes d'un substrat imperméable (entrées du champ « Nature » égales à « route à une chaussée », « route à 2 chaussées » et « quasi-autoroute »).

Les données bâtis et routes (surfaciques) sont fusionnées pour acquérir une couche unique (nommée *Imperm*) correspondant aux surfaces imperméabilisées sur les BV de rang zéro. Le RPG contient des informations permettant de distinguer le type d'exploitation sur les parcelles. Trois couches ont été constituées à partir de ce référentiel :

- *PrPerm* : Couche de parcelles en prairie permanente
- *PrTemp* : Couche de parcelles en prairie temporaire
- *TerrAra* : Couche de parcelles en culture

**Tableau 7 : Sources des données extraites via SIG**

Référentiel	Type	Données extraites
BD TOPO 2017	Vecteur	Données plans d'eau Données boisements (surfacique) Données infrastructures linéaires (linéaire) Données bâtis
Registre Parcellaire Graphique 2017 (RPG)	Vecteur	Occupation du sol Agriculture
MNT à résolution 5 mètres	Raster	Données de pentes

Les données sur les boisements sont fusionnées en une couche nommée *BoisForêt*. Les surfaces des polygones de chaque référentiel sont calculées et l'occupation des sols est rapportée à une densité surfacique exprimée en mètres carrés par hectare.

### *Les pentes*

Le calcul des pentes a pour objectif de caractériser les formes de vallées des rangs zéro. Il est issu d'une chaîne de traitement ayant pour entrées le MNT 5 mètres de résolution et un tronçon représentant le fond de vallée. Ce dernier doit être tracé à la main pour les raisons suivantes :

- La présence de linéaires d'écoulement n'est pas systématique sur les rangs 0 notamment dans le cas de rangs zéro présentant seulement une zone de source et/ou zone humide,
- En raison de travaux hydrauliques, les écoulements au sein des rangs zéro ne suivent pas systématiquement le fond de vallée.

Ce tracé est effectué de manière à suivre le fond de vallée d'après le MNT. La chaîne de traitement inclus le calcul de la pente longitudinale et le calcul des pentes latérales du fond de vallée. Pour le calcul des pentes latérales, des transects (longueur par défaut : 150 mètres) sont créés perpendiculairement au tronçon « fond de vallée » au niveau des extrémités de ce dernier. 4 transects sont ainsi matérialisés, soit deux transects par rive. Les valeurs d'élévation du MNT sont prélevées aux extrémités des transects et du tronçon « fond de vallée » et permettent de calculer leur pente (en %).

## 3. Résultats

### 3.1. Estimation du nombre de R0 sur le territoire

L'extraction des exutoires de R0 à partir de la BD TOPAGE a permis d'identifier **68 825 rangs zéro** sur l'ensemble du territoire Bretagne-Pays de la Loire. La carte de chaleur présentée ci-après ([Figure 7](#)) représente la répartition de la densité de rang zéro sur ce territoire. Des disparités sont visibles à l'échelle spatiale. Le nombre de rang zéro est plus faible dans une large bande allant des côtes de la Bretagne centre-nord jusqu'au sud de l'Ille-et-Vilaine ainsi que dans la Sarthe. A l'inverse, des sur-densités sont observées sur la façade ouest et le sud du département de la Vendée ainsi qu'au nord de l'Ille-et-Vilaine. Ces sur-densités proviennent des réseaux denses des marais côtiers.

Des disparités semblent s'exprimer au sein même des HER de niveau 2 (HER2) : dans le Finistère et l'ouest morbihannais, la densité de rang zéro est plus importante qu'à l'est de l'HER2 Massif Armoricaïn Ouest.

La [Figure 7](#) est à nuancer vis-à-vis de la carte générée à partir des CEP ([Figure 8](#)). Le nombre de rangs zéro identifiés après application des correctifs sur les CEP est **supérieur à 80 000**. Parmi les différences remarquables, le département des Côtes-d'Armor passe de 3 000 rangs zéro à 17 400 rangs zéro d'après les CEP (en densité : de 4,3 à 25 rangs zéro/10km<sup>2</sup>). A l'inverse, les Pays de la Loire présentent moins de rangs zéro d'après les CEP (-25% par rapport à la BD TOPAGE).

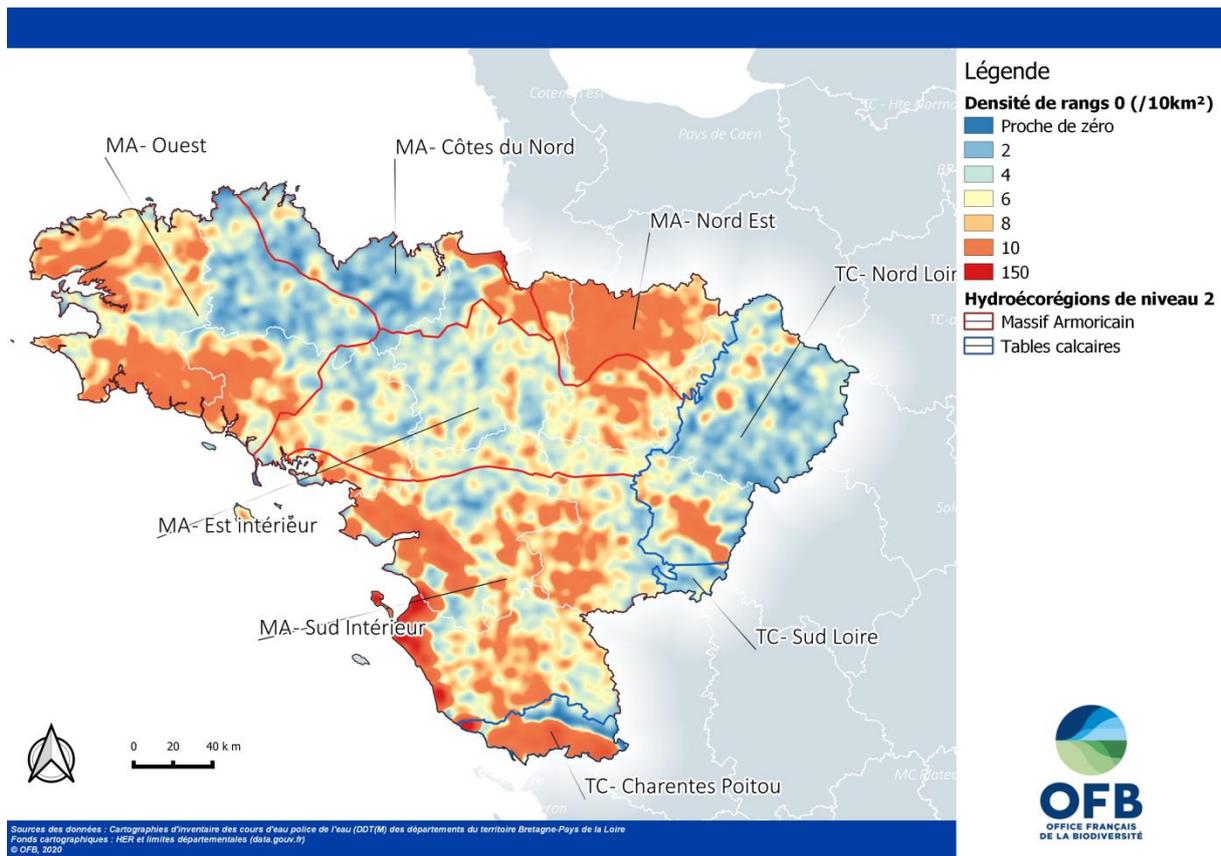


Figure 7 : Répartition de la densité de rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire d'après la BD TOPAGE

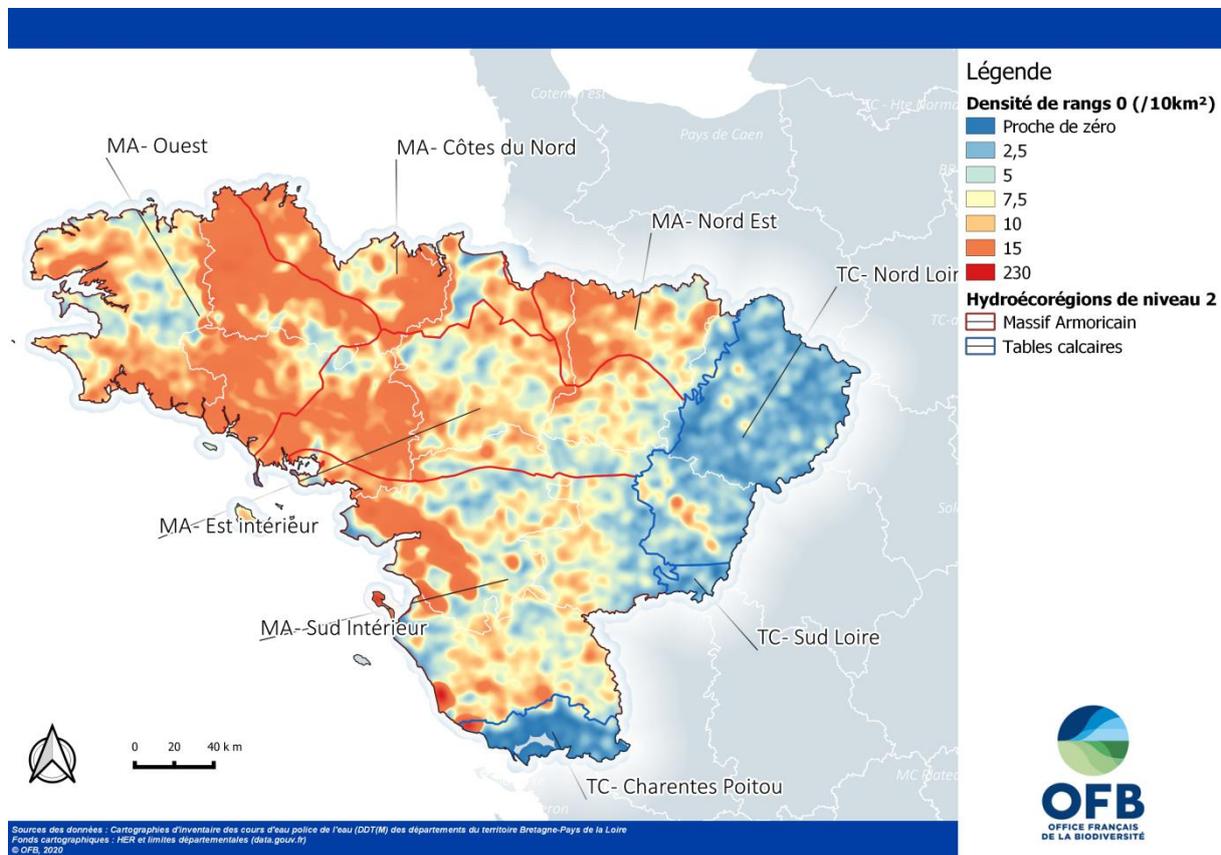


Figure 8 : Répartition de la densité de rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire d'après les CEP

La Figure 9 illustre nettement les différences de densité de rangs zéro suivant le référentiel utilisé. Les densités en rangs zéro sont variables au sein des départements allant de 3,4 RO/10km<sup>2</sup> pour la Sarthe à 25 RO/10km<sup>2</sup> pour les Côtes-d'Armor. Le changement d'hydroécorageon semble avoir une influence sur la densité de rangs zéro. Ainsi les départements de l'HER1 Tables calcaires semblent présenter moins de rangs zéro que les départements situés au sein de l'HER1 Massif Armoricain. A l'inverse des systèmes calcaires, le substrat imperméable du Massif Armoricain favorise le ruissellement. A l'échelle du territoire, les zones de très faible densité (proche de zéro par 10 km<sup>2</sup>) sont toutefois rares et aucune densité nulle n'a été relevée.

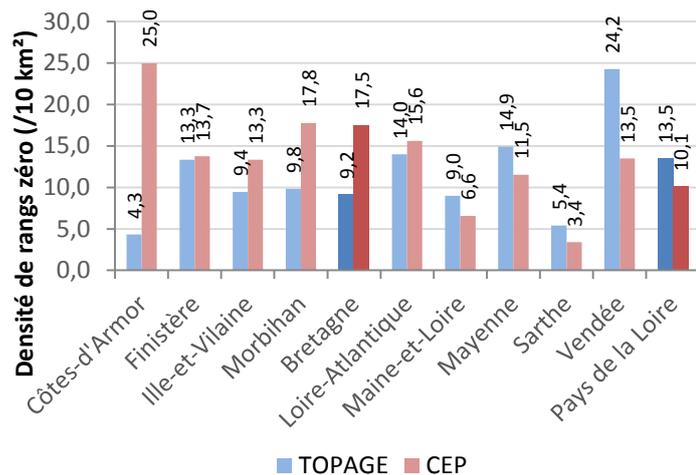


Figure 9 : Densité de rangs zéro des départements du territoire Bretagne-Pays de la Loire

### 3.2. Stations sélectionnées

Les stations ONDE sélectionnées pour l'étude sont au nombre de 16, réparties sur toute la Bretagne (Figure 10). Du fait de la restriction de l'étude à la région Bretagne, la représentativité vis-à-vis de l'occupation du sol du territoire Bretagne-Pays de la Loire n'est plus garantie. Les stations bretonnes permettent toutefois d'étudier des rangs zéro dans des contextes diversifiés (Figure 11).

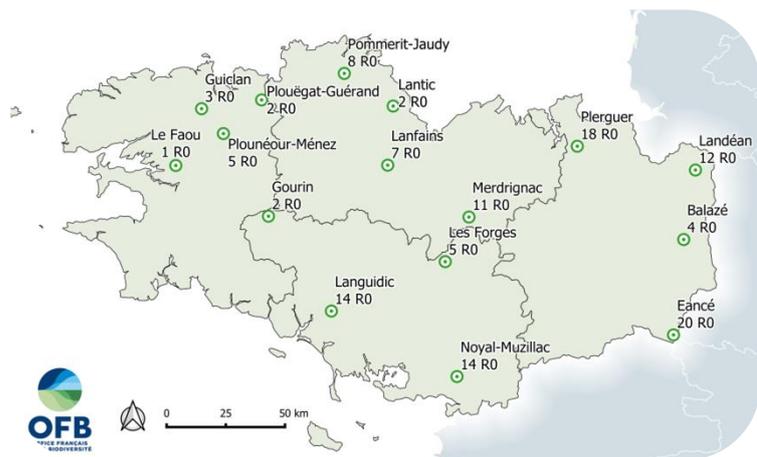


Figure 10 : Carte de situation des stations sélectionnées

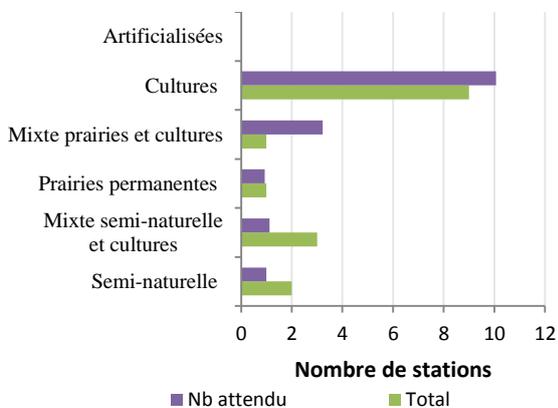


Figure 11 : Nombre de stations dans l'échantillon et nombre de stations attendu

Le nombre de rangs zéro présent sur les 16 stations sélectionnées est de 128 (TOPAGE et CEP confondus). Sur ces 128 rangs zéro, 90 ont pu faire l'objet d'un échantillonnage sur le terrain et via SIG. Trois n'ont pas été échantillonnés via SIG du fait d'écoulements trop complexes pour permettre le calcul d'un bassin versant. Les rangs zéro non-échantillonnés sur le terrain sont au nombre de 35 dont 15 n'étaient pas accessibles (propriétés clôturées) et 20 n'existaient pas.

### 3.3. Analyse des données échantillonnées sur le terrain

#### 3.3.1. Types de sources

L'échantillonnage a permis de visiter une grande diversité de types de sources (Figure 12). Les plus représentées à l'échelle de l'échantillon sont les **sources diffuses drainées (68,5%)**, notamment les zones de source drainées par un réseau de drainage superficiel (59,8%).

Le drainage souterrain est lui aussi assez courant puisqu'il a été constaté sur 15 stations. Les sources ponctuelles identifiées sont au nombre de 19 et 15 d'entre elles ont été modifiées pour des usages anthropiques. L'aménagement des sources ponctuelles en plan d'eau est le plus fréquent (10 observations).

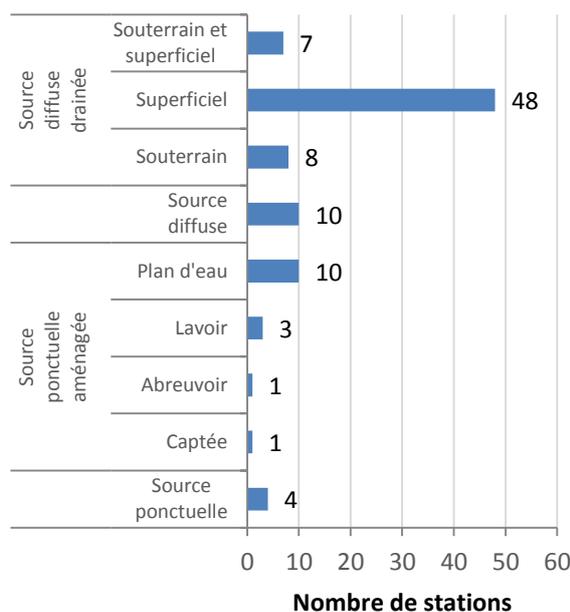


Figure 12 : Nombre de stations par type de source rencontré sur le terrain

#### 3.3.2. Types de chenaux

129 chenaux d'écoulements ont été échantillonnés sur les rangs zéro. Sur l'ensemble de ces chenaux, 125 correspondent à des fossés (annexe 1). Seuls 4 chenaux de transition ont été observés et mesurés. En moyenne, leur largeur plein bord est de 62,5 cm pour 11,2 cm de profondeur plein bord. Ceux-ci alternent sur de courtes distances entre écoulements contenus entre de petites berges (de l'ordre de la dizaine de centimètres) et des écoulements diffus sans berges distinctes (Figure 13).



Figure 13 : Photographie d'un chenal de transition à Noyal-Muzillac (56), ici une portion sans berges distinctes

#### 3.3.3. Dimensions des chenaux de rang zéro et de rang 1

Il n'existe pas de différences significatives entre les Lpb des R1 à l'aval direct des rangs zéro, celles des fossés échantillonnés sur les rangs zéro et celles des R1 de référence (données de référence d'après JAN (2013) et BOSSIS (2014)) (Figure 14). En revanche les chenaux de

transitions sont significativement plus petits que les autres chenaux échantillonnés. Cependant, seuls 4 d'entre eux ont pu être observés.

Les profondeurs moyennes des rangs 1 et fossés mesurés sur le terrain sont significativement différentes de la profondeur moyenne des cours d'eau de rang 1 en situation de référence. En effet, les références font en moyenne 28,4 cm de profondeur contre 72,3 et 65,2 cm pour les rangs 1 et les fossés mesurés sur le terrain.

La répartition de l'indice d'artificialisation à l'échelle du segment calculé sur chaque rang 1 échantillonné est présentée dans la **Figure 15**. 80% des 93 rangs 1 sont artificialisés, très artificialisés voire enterrés. Les paramètres les plus déclassant de l'indice sont :

- la sinuosité : 85% des rangs 1 échantillonnés sont rectilignes,
- la classe d'évolution morphologique (CEM) : 81% des rangs 1 échantillonnés font partie des classes 2, 3 ou 4 correspondant à des cours d'eau recalibrés, incisés ou élargis.

### 3.3.4. Réseaux de drainage

#### *Le drainage superficiel*

Sur les 47,3 km de chenaux relevés par GPS, 12,6 km correspondent à des fossés de route (routes à 1 et 2 chaussées et quasi-autoroutes selon le BD TOPO). 17 des 93 rangs zéro présentent plus de 80% de traces relevées correspondant à des fossés de route. En comptant les routes empierrées et les chemins et sentiers, c'est **23,2 des 47,3 km (53%)** de traces échantillonnées qui se trouvent à proximité d'une voie de communication.

Le drainage superficiel a également été observé en contexte de boisement : sur les 13 stations visitées dans ce contexte, 11 présentent du drainage superficiel. Les densités de drainage peuvent être importantes et n'ont pas été échantillonnées systématiquement mais un réseau de

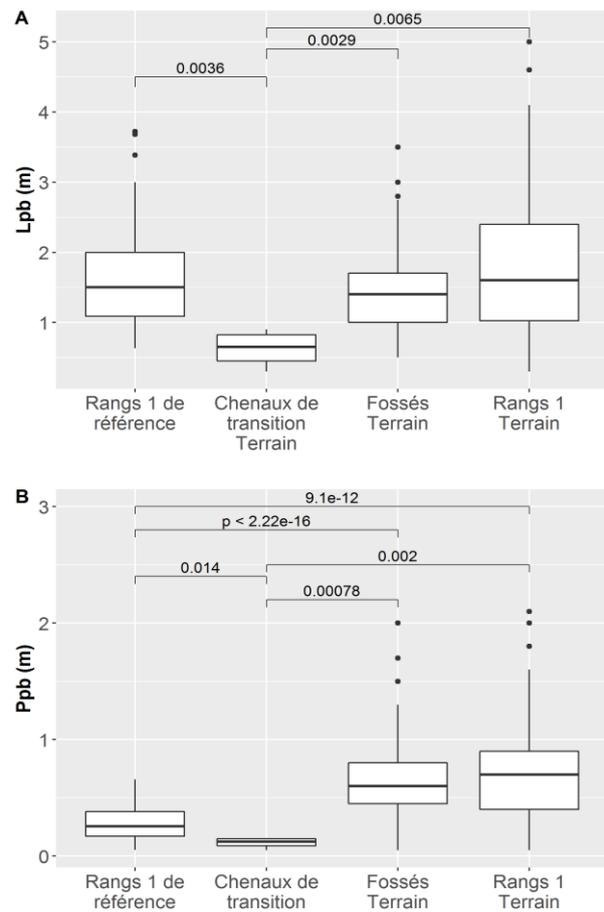


Figure 14 : Comparaison des largeurs et profondeurs à plein bord des chenaux échantillonnés.

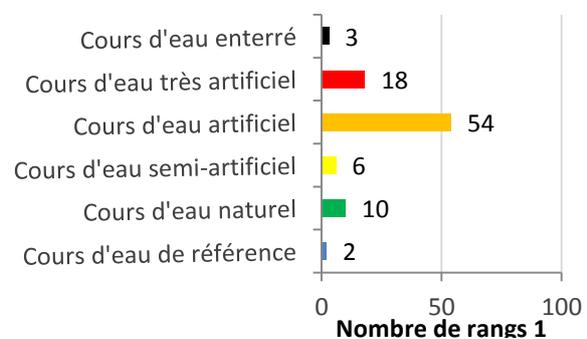


Figure 15 : Degré d'artificialisation des segments de rang 1 échantillonnés

drainage quasi-entier<sup>8</sup> a été cartographié dans la forêt du Mesnil (35). Au total, 16 km de réseau ont été parcourus pour une densité de drainage de 114,5 mètres linéaire/Ha.

### ***Le drainage souterrain***

Contrairement au drainage superficiel, il est impossible de connaître la superficie impactée ou la densité de drains par un examen visuel. Des dispositifs de drainage souterrain ont été constatés sur 15 des 93 stations visitées. Seules les stations où des éléments matériels prouvant le drainage souterrain (sorties de drains ou de buses) ont été considérées ici. Il existe cependant plusieurs stations où un drainage souterrain était fortement soupçonné.

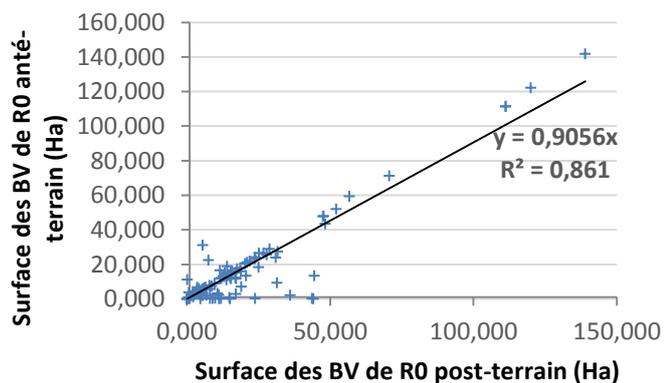
### **3.3.5. Espèces inadaptées**

Des espèces inadaptées sont rencontrées sur une part importante des rangs zéro visités (23 stations soit 24%). Les plus fréquemment rencontrées sont les résineux (13 stations), toutes essences confondues, plantés le plus souvent en boisements isolés, dans les haies ou en peuplements forestiers pour l'exploitation. Le laurier palme est retrouvé au sein des boisements isolés comme en forêt au sein de 7 stations. 5 peupleraies ont été identifiées dans une bande de 10 mètres de part et d'autre des milieux humides des rangs zéro.

## **3.4. Analyse des données échantillonnées sous SIG**

### **3.4.1. Surface des bassins versants de rang zéro**

Les surfaces des BV diffèrent selon qu'elles ont été calculées avant ou après le terrain, lorsque les écoulements constatés sont pris en compte (Figure 16). Globalement, lorsque le calcul tient compte de la réalité des écoulements, la surface de BV tend à être augmentée comme le montre l'équation de la régression linéaire. Cependant, des différences sont constatées à la hausse comme à la baisse avec des écarts allant de -25 à +44 Ha par rapport au calcul du BV avant la phase de terrain. Sur les BV présentant une différence de surface absolue supérieure à 1 ha (54 stations), la différence provient soit de la prise en compte des fossés échantillonnés sur le terrain (59%), soit du repositionnement de l'exutoire du rang zéro (19%), soit des deux effets combinés (22%). Dans tous les cas, c'est la prospection de terrain qui permet d'ajuster le calcul du bassin versant.



**Figure 16 : Comparaison des surfaces de BV des rangs zéro avant et après le terrain**

<sup>8</sup> Le BV concerné mesure plus de 111 ha. Dans l'incapacité de contrôler en temps réel les drains échantillonnés par chacun des opérateurs, certains secteurs ont été oubliés et le constat fait seulement lors de l'importation des traces sous SIG.

La surface moyenne des BV des stations prospectées est de 19,9 ha avec toutefois des écarts importants (écart-type = 24,2 ha) allant de la centaine de mètres carrés dans le cas de sources ponctuelles, à la centaine d'hectares (Figure 17).

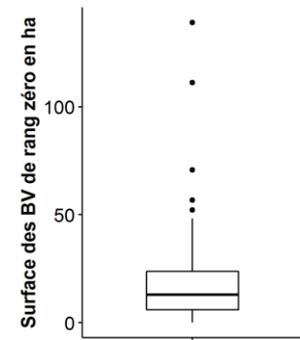


Figure 17 : Répartition de la surface des BV de rang zéro calculés après le terrain

### 3.4.2. Pentés et formes de vallée

#### *Pentes longitudinales*

Les pentes longitudinales au sein des rangs zéro s'étendent sur une gamme allant de 0,21 à 11,27% (Figure 18). Les classes de pente présentées dans la figure 13 ont été obtenues par une détermination des seuils naturels de Jenks<sup>9</sup>. Aucune tendance ne se démarque entre les rangs zéro.

#### *Pentes latérales*

Les pentes latérales toutes rives confondues au sein des rangs zéro s'étendent sur une gamme allant de 0,19 à 11,72% (Figure 19). Les pentes faibles (entre 0 et 1,3%) sont les plus courantes et la fréquence diminue à mesure que la pente augmente. 27% des stations présentent des pentes latérales faibles en rives gauche et droite. Le bassin versant de ces stations correspond plus à un plan incliné, un versant, qu'à une vallée bien définie.

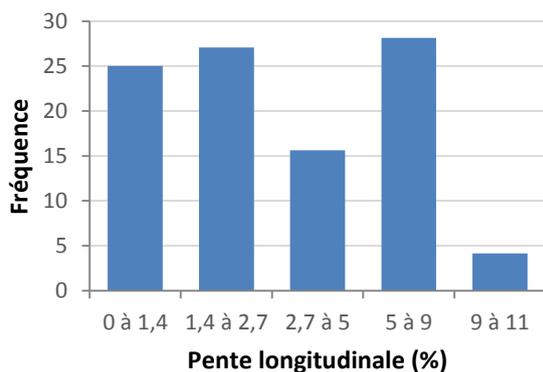


Figure 18 : Répartition des pentes longitudinales sur les rangs zéro

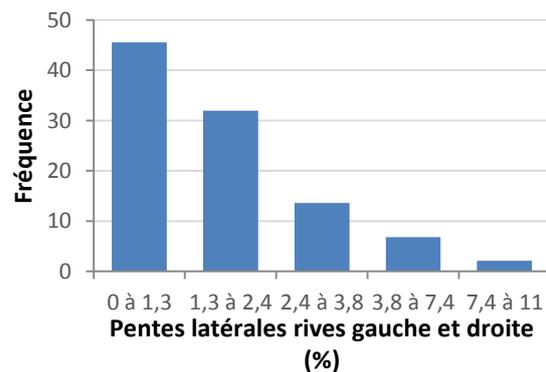


Figure 19 : Répartition des pentes latérales sur les rangs zéro

## 3.5. Analyse croisée des données SIG et terrain

### 3.5.1. Occupation du sol et pressions

L'occupation des sols sur les rangs zéro est très variable mais liée évidemment à la méthode de sélection des stations. Une analyse canonique des corrélations (ACC) a été effectuée dans le but de montrer d'éventuels liens entre l'occupation des sols et les pressions observées sur le terrain (Figure 20). L'ACC est généralement utilisée pour comparer deux jeux de variables. Ici les données de pression et les données d'occupation des sols en habitats EUNIS ou extraits par SIG sont analysées.

<sup>9</sup> Méthode itérative qui permet de séparer une variable quantitative continue en classes au sein desquelles la somme des carrés des écart-types est la plus réduite possible.

Pour les besoins de l'analyse, les habitats EUNIS échantillonnés en niveau 3 ont été simplifiés en niveau 1.

La représentation sur les axes est assez faible (coefficient de corrélation A : Dim1 = 0,54 et Dim2 = 0,44 ; B : Dim1 = 0,65 et Dim2 = 0,53). Cependant, certaines pressions semblent se retrouver régulièrement dans les mêmes contextes d'occupation des sols. Ainsi, le drainage souterrain est rencontré dans les stations présentant des zones cultivées (TerrAra et I). Le drainage superficiel est rencontré le plus souvent dans les BV présentant de l'urbanisation (Imperm et J) en raison de la présence de nombreux fossés de route. Enfin, les espèces inadapées sont rencontrées au sein des forêts et boisements principalement.

Toutefois, la représentation de la CCA par individus ne permet de distinguer aucun groupe de stations réunissant des ensembles de pressions similaires lorsque leur occupation du sol est prise en compte.

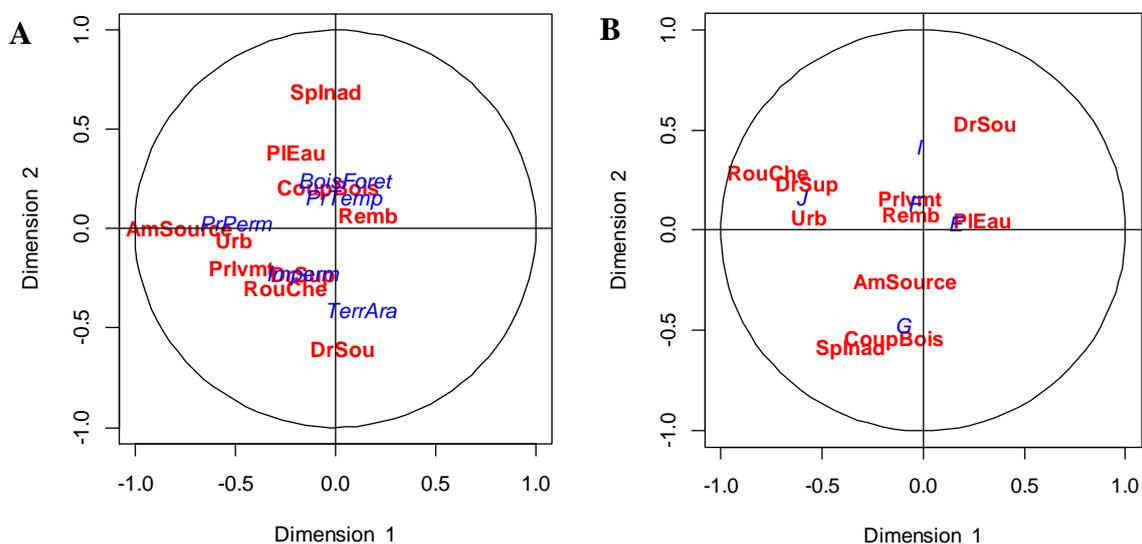


Figure 20 : Représentation de la CCA entre (A) les pressions et l'occupation du sol d'après les données SIG et (B) entre les pressions et l'occupation du sol en habitats EUNIS

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur le jeu de données des pressions. Les groupes de stations qu'elle met en évidence se distinguent plus par le nombre de pressions qui y ont été observées que par des assemblages récurrents de pressions. Les résultats de l'ACP et de l'ACC semblent tous deux montrer qu'il n'existe pas de schéma dans les pressions qui s'appliquent au sein des rangs zéro. Par ailleurs, **75% des rangs zéro sont concernés par plus d'une des pressions échantillonnées.**

### 3.5.2. Plans d'eau

L'extraction par SIG a permis de détecter 44 plans d'eau répartis sur 22 rangs zéro. Sur ces 44 plans d'eau, 26 n'ont pas été détectés par l'échantillonnage de terrain. A contrario, l'échantillonnage de terrain a permis de mettre en évidence 6 plans d'eau invisibles sous SIG. Ces derniers étaient tous situés sous couvert arboré.

## 4. Discussion

### 4.1. La notion de rang zéro

Les rangs zéro sont considérés dans cette étude comme les BV situés à l'amont des cours d'eau répondant aux trois critères définis par l'article L.215-7-1 du Code de l'environnement. Pour les scientifiques, l'aval du rang zéro se situe là où apparaissent les écoulements chenalés. Malgré l'existence de ces définitions, la limite aval des rangs zéro est difficile à positionner sur le terrain.

La localisation des têtes de chenaux (point d'apparition des écoulements chenalés) et les processus qui la contrôlent ont fait l'objet d'études spécifiques (DIETRICH ET DUNNE, 1993 ; JAEGER, 2007 ; TSUKAMOTO, 1973). Dans ces études, il est précisé que c'est le critère morphologique d'apparition de berges subsistant après l'arrêt des écoulements qui est déterminant pour la localisation de la tête de chenal. La plupart des stations étudiées comportent des réseaux de drainage ou des aménagements (plans d'eau, lavoirs) qui ont modifié depuis longtemps la morphologie de ces zones. Dans ces contextes très modifiés, l'identification du point d'apparition des écoulements chenalés est impossible.

Dans cette étude, le choix de la définition des rangs zéro à partir des référentiels CEP permet de s'affranchir de la localisation de la tête de chenal. La constitution de ces référentiels hydrographiques repose sur la délimitation des cours d'eau. En contexte artificialisé, les critères de caractérisation des cours d'eau sont parfois difficiles à identifier et la délimitation du cours d'eau est alors susceptible de varier entre les opérateurs et dans le temps. Cela aboutit dans certains cas à un référentiel « exhaustif », dans lequel l'amont du cours d'eau est positionné très haut sur le versant, parfois jusqu'à la source. Dans d'autres cas, au contraire, l'amont du cours d'eau est « bas » sur le versant. Ce constat est confirmé par la forte variabilité des surfaces de BV de rang zéro échantillonnées. Face aux impacts anthropiques constatés sur les rangs zéro et aux difficultés à les délimiter qu'ils engendrent, il est légitime de se demander quelle est la nature des objets étudiés ?

### 4.2. Les altérations au sein des rangs zéro

Bien qu'ils ne concernent pas immédiatement les rangs zéro, les résultats de l'indice d'artificialisation appliqué sur le premier segment de rang 1 tiennent lieu d'introduction à l'état de l'amont des TBV. Selon cet indice, 80% des cours d'eau émanant directement des rangs zéro sont artificialisés, très artificialisés voire enterrés, présentant de lourdes modifications à leur amont immédiat. La comparaison des gabarits de rangs 1 de référence (JAN, 2013 ; BOSSIS, 2014) avec les rangs 1 échantillonnés sur le terrain confirme que ces derniers ont fait l'objet de travaux hydrauliques lourds et notamment de recalibrage. Leur profondeur est supérieure de 40 cm en moyenne par rapport à la référence.

Sur les rangs zéro, la dégradation des milieux aquatiques est également visible. Selon la bibliographie, les écoulements observables au sein des rangs zéro s'expriment sous la forme de chenaux de transition voire de cours d'eau éphémères (BENDA ET AL., 2005 ; GOMI ET AL., 2002 ; STOREY ET AL., 2009). Sur l'ensemble des stations échantillonnées, seuls 4 chenaux de transition ont pu être observés et mesurés. Leurs dimensions (en moyenne Lpb = 62,5 cm, Ppb = 11,2 cm) sont inférieures aux dimensions des rangs 1 de référence. En revanche, la grande

majorité des chenaux rencontrés lors de l'étude ont des fossés (**97% des écoulements relevés en rang zéro**) d'une profondeur moyenne de 65,2 cm, soit environ 37 cm de plus que des rangs 1 en situation de référence.

Le drainage superficiel concerne plus de la moitié (59,8%) des stations prospectées et tous les BV de stations ONDE sélectionnés présentent au moins un rang zéro impacté. Au regard de ces résultats, il est possible de parler de chenalisation généralisée au sein des rangs zéro. Dans la majorité des cas, ces réseaux sont ceux qui bordent les routes et les chemins. Les forêts, souvent perçues comme les représentantes d'une nature préservée (DODIER, 2018 ; MICHON, 2003), ne sont pas épargnées par cette pratique puisqu'une majorité des stations forestières (11 sur 13) présentent des réseaux de drainage, parfois denses (16 km relevés dans un BV de 111 ha, soit 114 ml/ha). Dans le domaine agricole, le drainage souterrain s'ajoute régulièrement au drainage superficiel. Lors de l'étude, 19% des stations sont concernées par cette pratique et ce toujours en contexte de culture ou prairial. Le drainage souterrain, bien qu'en recul en France depuis les dernières décennies (> 10 000 ha en 2005) reste courant dans le milieu agricole. Ses conséquences sur la quantité et la qualité de l'eau sont pourtant importantes puisqu'il diminue les temps de transfert et que les rejets se font le plus souvent directement dans le milieu naturel (TOURNEBIZE, 2017).

Sur l'ensemble des stations visitées, il est fréquent que les pressions soient multiples et les altérations affectant l'hydrologie (drainages souterrain et superficiel, plan d'eau, prélèvement) sont parmi les plus représentées. Les usages historiques tels que les aménagements de source en lavoir ou en fontaine ne sont finalement que peu représentés dans l'échantillon prospecté.

#### 4.3. Recommandations pour l'étude des rangs zéro

Si les limites aval des rangs zéro sont difficiles à identifier, leurs limites amont, les crêtes de leurs BV, ne sont pas non plus évidentes à déterminer. En effet, les chaînes de traitement aboutissant au calcul des BV impliquent plusieurs définitions de seuils et de paramètres (flux simples VS flux multiples, profondeur de surcreusement du MNT, ...) qui peuvent modifier les résultats. Par ailleurs, ce calcul est parfois impossible à réaliser du fait d'écoulements complexes. Lors de cette étude, certains bassins versants n'ont ainsi pas pu être calculés car ils présentaient soit des fossés s'écoulant en sens inverse des pentes indiquées par le MNT, soit des écoulements détournés vers des buses souterraines.

Que ce soit pour calculer des BV ou pour caractériser des pressions, l'étude a pu montrer la complémentarité existante entre l'échantillonnage de terrain et la caractérisation via SIG. Cette affirmation a déjà été mise en évidence lors d'études approfondies sur la délimitation, la caractérisation et la hiérarchisation de TBV par approche cartographique (CIROU, 2017 ; COUDARD, 2018). De telles études pourront être menées en intégrant les rangs zéro afin d'adapter les méthodes de cartographies à cette nouvelle échelle. Dans l'attente que ces nouveaux outils et méthodes soient développés, l'étude des rangs zéro devra peut-être s'affranchir du calcul de leurs BV, en s'attachant plutôt à décrire sur le terrain les caractéristiques des milieux aquatiques constitutifs des rangs 0 et les pressions s'exerçant sur ces derniers.

Sur l'ensemble des rangs zéro visités, aucun n'était exempt de traces de modifications humaines (drainage, prélèvement, plan d'eau, ...). Il serait intéressant de mener une étude

approfondie des rangs zéro dans des contextes plus préservés afin de construire une typologie des sources sur des stations de référence. Si les écoulements rencontrés sur les rangs zéro échantillonnés sont extrêmement homogènes, ils devraient en revanche être plus diversifiés en situation de référence. La bibliographie scientifique concernant les rangs zéro à ce jour est largement tournée vers l'étude de ces zones en contexte montagneux. Une telle étude permettrait de déterminer les caractéristiques décrites dans la bibliographie (position des têtes de chenaux, morphologie de la zone d'émergence de la source et d'apparition des premiers écoulements chenalisés) qui sont transposables aux zones de plaine. Cela permettrait également de préciser les caractéristiques de référence des rangs 0, éléments essentiels à leur restauration.

#### **4.4. Recommandations pour la préservation et la restauration des rangs zéro**

Si l'altération des rangs zéro n'a pas fait l'objet d'une évaluation précise lors de cette étude, il semble néanmoins évident que ces sous-ensembles des TBV sont globalement dégradés. Les nombreuses altérations constatées dès la source, notamment sur l'hydrologie, font de la préservation de ces zones un enjeu majeur, notamment dans le contexte global de changement climatique.

Le premier levier pourrait être réglementaire : à l'heure actuelle, aucun outil n'est adapté à la préservation des zones de source, notamment du fait de leur petite taille. Ainsi, inscrire de nouvelles dispositions, telles que la protection des petites zones humides (inférieures à 1000 m<sup>2</sup>) en contexte de source, dans les réglementations locales telles que les SAGE et les documents d'urbanisme semble incontournable. Lors de l'étude, de nombreuses pressions ont été observées dans une bande de 10 mètres autour des milieux aquatiques. Il est envisageable de mettre en place une protection systématique de tout milieu aquatique notamment grâce aux zones tampons (bandes enherbées ou boisées, talweg enherbé, ...). Il existe des recommandations pour leur implantation (AFB ET IRSTEA, 2017), et chaque interface peut se doter d'une zone tampon qui lui est adaptée. La prise en considération des rangs zéro passe inévitablement par la reconnaissance de leur existence. Ainsi, leur cartographie devrait être effectuée et les sources identifiées. A l'image des cours d'eau, les sources pourraient être nommées et signalées de façon à les rendre plus perceptibles par le grand public.

Le second levier pourrait être la restauration de ces zones. Cette étude ne permet pas de fournir des recommandations techniques quant à la restauration des zones de sources. Les techniques de restauration sauront être adaptées au contexte particulier des zones de sources après une étude approfondie de stations de référence. Sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire, la restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau s'effectue principalement sur les TBV (BOUDOT GRIMAUD, 2013 ; GUYARD, 2018). Ces techniques se concentrent sur la reconstitution de lits mineurs de cours d'eau proches des caractéristiques naturelles. La restauration des rangs zéro pourrait ainsi compléter le travail engagé sur les TBV, et amplifier ses effets bénéfiques (augmentation des débits d'étiages, diversification des milieux, ...).

Enfin, au vu de la prévalence des fossés et autres réseaux de drainage au sein des rangs zéro, il semble primordial de modifier les pratiques actuelles de gestion des eaux pluviales au profit de techniques moins impactantes sur les milieux en aval. Concernant les réseaux de fossés de route, plusieurs alternatives au curage traditionnel existent. Dans ce contexte, la technique du

tiers inférieur semble adaptée (MC DONALD *ET AL.*, 2018). Celle-ci consiste à ne curer que le tiers inférieur du fossé sans pour autant altérer la végétation en place sur la partie haute des berges. Cette méthode réduit l'érosion au sein des fossés et la végétation constamment présente participe à ralentir les écoulements, à maintenir les berges et à l'épuration des eaux, et ce pour un coût moindre vis-à-vis des techniques traditionnelles (environ 40% moins coûteux) (AFB, 2018). Les réseaux de fossés observés sur le terrain sont en connexion directe avec l'amont du réseau hydrographique. La déconnexion des fossés vis-à-vis du réseau hydrographique doit être réalisée dès que possible. Plusieurs méthodes existent mais visent toutes à faciliter l'infiltration de l'eau au plus proche du lieu des précipitations. Ces techniques de gestion des eaux pluviales sont bénéfiques pour la ressource en eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Par ailleurs, la gestion intégrée des eaux pluviales fait partie des orientations du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021.

La sécheresse du sol est reconnue comme premier facteur limitant la croissance des arbres sur le territoire métropolitain (ONERC, 2015). Du fait du changement climatique, la fréquence des épisodes de sécheresse (GIUNTOLI *ET AL.*, 2012) ou de canicule (NATURAL GEOGRAPHIC FRANCE, 2019) est amenée à augmenter. En gestion forestière, la pratique du drainage semble alors contre-productive et ne constitue pas une pratique durable. Des techniques existent afin de restaurer ces forêts drainées et consistent à combler totalement ou partiellement les drains par la mise en place de bouchons.

## Conclusion

Les nombreuses études menées sur les TBV ont permis d'améliorer considérablement la connaissance de ces milieux. Grâce à ces travaux, les opérations de préservation et de restauration de cours d'eau se font majoritairement en TBV et peuvent être menées de manière plus efficace. Pourtant, à l'amont de ces cours d'eau, les sources, les écoulements diffus, les chenaux de transition et les milieux humides annexes restent souvent peu connus et ce malgré leur omniprésence au sein des paysages. Les rangs zéro, sous-ensembles des TBV, sont de petite taille et sont susceptibles de subir de nombreuses altérations. Cette étude exploratoire des rangs zéro a été menée afin de réunir des premiers éléments de description de ces milieux et des pressions qu'ils subissent.

L'omniprésence supposée des rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire a pu être confirmée. Suivant le référentiel utilisé, ce sont entre 68 000 et 80 000 rangs zéro (respectivement à partir de TOPAGE et de CEP) qui sont répartis dans les régions Bretagne et Pays de la Loire. Leur cartographie et leur délimitation se heurtent toutefois à la réalité du terrain et leur étude par l'intermédiaire de l'outil géomatique s'avère compliquée. Dans des contextes artificialisés (présence de fossés, drainage souterrain et routes), il est très difficile de connaître les limites amont et aval des rangs zéro. En effet, les rangs zéro ont subi des modifications qui rendent difficiles l'identification des caractéristiques morphologiques définies dans la littérature.

93 rangs zéro ont été échantillonnés dans des contextes représentatifs de l'occupation du sol de la région Bretagne. Toutes les stations présentent des traces de modifications anthropiques et 75% d'entre elles présentent plus d'une des pressions étudiées. 68,5% des stations sont impactées par des drainages (de surface ou souterrain). Les fossés représentent 97% des traces

de lit relevées sur le terrain et sont en moyenne 2,3 fois plus profonds que des rangs 1 de référence (30 cm plus profonds). 63% du linéaire échantillonné se situe à proximité directe des routes et chemins. Cependant, les forêts et les milieux agricoles ne sont pas épargnés par la pratique du drainage.

Autrefois aménagées pour les usages de l'Homme (lavoirs, fontaines, chemin creux, ...), les zones de source sont aujourd'hui impactées par une chenalisation quasi-systématique. A l'heure actuelle, les hydrologues s'inquiètent de la recrudescence des assecs des cours d'eau et les politiques publiques tentent de faire face aux problématiques d'inondation, de pollution et de disponibilité de la ressource en eau. Dans ce contexte, la préservation de ces interfaces entre milieux terrestres et aquatiques semble constituer un enjeu majeur. Actuellement, les rangs zéro ne bénéficient d'aucun outil de protection adapté à leur petite taille. Il est urgent de reconnaître l'existence de ces milieux par la mise en place d'une réglementation destinée à freiner la dégradation de ces écosystèmes. Dans le contexte de changement climatique, ces rangs zéro, les sources de tous les ruisseaux, cours d'eau, rivières et fleuves à l'échelle nationale peuvent constituer des atouts essentiels pour la préservation de la ressource en eau (en quantité et en qualité) ainsi que pour contribuer à freiner l'érosion de la biodiversité.

## Bibliographie

Adams RK and Spotila JA (2005) The form and function of headwater streams based on field and modeling investigations in the Southern Appalachian Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group* 30(12): 1521–1546.

AFB and IRSTEA (2017) Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. IRSTEA - Agence Française pour la Biodiversité.

Agence de l'Eau Loire-Bretagne (2015) Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux Loire-Bretagne.

Alexander RB, Boyer EW, Smith RA, et al. (2007) The role of headwater streams in downstream water quality. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 43(1): 41–59.

Armour CL, Duff DA and Elmore W (1991) Position statement on the effects of livestock grazing on riparian and stream ecosystems. *Fisheries* 16(1): 7–11.

Belsky AJ, Matzke A and Uselman S (1999) Survey of livestock influences on stream and riparian ecosystems in the western United States. *Journal of Soil and water Conservation* 54(1): 419–431.

- Benda L, Hassan MA, Church M, et al. (2005) Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association*: 17.
- Bishop K, Buffam I, Erlandsson M, et al. (2008) Aqua Incognita: the unknown headwaters. *Hydrological Processes* 22(8): 1239–1242. DOI: 10.1002/hyp.7049.
- Blackport R, MacGregor R and Imhof J (1995) An Approach to the Management of Groundwater Resources to Protect and Enhance Fish Habitat. Department of Fisheries and Oceans, Central and Arctic Region, Fisheries and ....
- Bossis M (2014) Étude de l’hydromorphologie à l’échelle stationnelle des cours d’eau de tête de bassin versant armoricains en situation de référence. Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l’Eau et des Milieux Aquatiques.
- Bouas G (2016) Etude de la biodiversité (macro-invertébrés et ichtyofaune) des cours d’eau en tête de bassin versant. Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l’Eau et des Milieux Aquatiques.
- Boudot Grimaud T (2013) Conséquences des travaux de restauration écologique sur l’hydromorphologie des cours d’eau. ONEMA.
- Branchu P, Badin A-L, Bechet B, et al. (2013) Pollution d’origine routière et environnement de proximité. *VertigO-la revue électronique en sciences de l’environnement (Hors-série 15)*.
- Budd WW, Cohen PL, Saunders PR, et al. (1987) Stream corridor management in the Pacific Northwest: I. Determination of stream-corridor widths. *Environmental Management* 11(5): 587–597.
- Burns D, Vitvar T, McDonnell J, et al. (2005) Effects of suburban development on runoff generation in the Croton River basin, New York, USA. *Journal of Hydrology* 311(1–4): 266–281. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.01.022.
- Cable Rains M, Fogg GE, Harter T, et al. (2006) The role of perched aquifers in hydrological connectivity and biogeochemical processes in vernal pool landscapes, Central Valley, California. *Hydrological Processes: An International Journal* 20(5): 1157–1175.
- Choucard P (2011) Elaboration d’une méthodologie d’inventaire cartographie et de hiérarchisation des têtes de bassin versant dans le contexte armoricain - Application au bassin versant du Couesnon. Association bassin du Couesnon.
- Chow VT (1959) *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.
- Cigizoglu HK, Bayazit M and Önöz B (2005) Trends in the maximum, mean, and low flows of Turkish rivers. *Journal of Hydrometeorology* 6(3): 280–290.
- Cirou J (2017) Elaboration d’une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique. Institution d’Aménagement de la Vilaine. Available at: [http://www.eptb-vilaine.fr/\\_BDU/20171117141351\\_Memoire\\_Julien\\_Cirou.pdf](http://www.eptb-vilaine.fr/_BDU/20171117141351_Memoire_Julien_Cirou.pdf) (accessed 3 September 2020).
- Clinton BD and Vose JM (2006) Variation in stream water quality in an urban headwater stream in the southern Appalachians. *Water, Air, and Soil Pollution* 169(1–4): 331–353.

- Colin M (2015) Etude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant Evaluation de l'impact des travaux de chenalisation. Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- CORPEN (2008) Les zones tampons, un moyen de préserver les milieux aquatiques. Available at: <https://docplayer.fr/11664014-Corpen-les-zones-tamponst-un-moyen-de-preserver-les-milieux-aquatiques.html> (accessed 2 September 2020).
- Coudard A (2018) Localisation, caractérisation et hiérarchisation des têtes de bassin versant sur le territoire de la Sèvre Nantaise. EPTB Sèvre Nantaise.
- Dacharry M (1996) Dictionnaire Français d'hydrologie. URL: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/indexdic.htm>.
- Datry T, Dole-Olivier M-J, Marmonier P, et al. (2008) La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau.
- Datry T, Larned ST and Tockner K (2014) Intermittent rivers: a challenge for freshwater ecology. *BioScience* 64(3): 229–235.
- Davidsson TE and Ståhl M (2000) The influence of organic carbon on nitrogen transformations in five wetland soils. *Soil Science Society of America Journal* 64(3): 1129–1136.
- del Rosario RB, Betts EA and Resh VH (2002) Cow manure in headwater streams: tracing aquatic insect responses to organic enrichment. *Journal of the North American Benthological Society* 21(2): 278–289.
- Dieterich M and Anderson NH (1998) Dynamics of abiotic parameters, solute removal and sediment retention in summer-dry headwater streams of western Oregon. *Hydrobiologia* 379(1–3): 1–15.
- Dieterich M and Anderson NH (2000) The invertebrate fauna of summer-dry streams in western Oregon. *Archiv für Hydrobiologie* 147(3): 273–295.
- Dietrich WE and Dunne T (1993) The channel head. *Channel network hydrology*: 175–219.
- Dodier R (2018) Perception sociale de la forêt : un espace plus prophylactique que pathogène. *Revue Forestière Française*: 9.
- Erman NA and Erman DC (1995) Spring Permanence, Trichoptera Species Richness, and the Role of Drought. *Journal of the Kansas Entomological Society* 68(2): 50–64.
- Esseen P-A, Glimskär A and Ståhl G (2004) Linjära Landskapselement i Sverige: Skattningar från 2003 års NILS-Data.
- Flörke M, Schneider C and McDonald RI (2018) Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability* 1(1): 51–58.
- Freeman MC, Pringle CM and Jackson CR (2007) Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 43(1): 5–14.

- Giuntoli I, Maugis P and Renard B (2012) Évolutions observées dans les débits des rivières en France. Sélection d'un réseau de référence et analyse de l'évolution temporelle des régimes des 40: 8.
- Gob F, Bilodeau C, Thommeret N, et al. (2014) Vers la construction d'indicateurs hydromorphologiques soutenant la biologie à partir de la base de données nationale Carhyce.
- Gomi T, Sidle RC and Richardson JS (2002) Understanding processes and downstream linkages of headwater systems: headwaters differ from downstream reaches by their close coupling to hillslope processes, more temporal and spatial variation, and their need for different means of protection from land use. *BioScience* 52(10): 905–916.
- Grieve SW, Hales TC, Parker RN, et al. (2018) Controls on zero-Order Basin morphology. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 123(12): 3269–3291.
- Guillerme N (2015) Caractérisation de la pression « enterrement des cours d'eau » sur le territoire Bretagne – Pays de la Loire. Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- Guyard F (2018) Améliorer la connaissance sur les démarches de suivi des opérations de restauration réalisées sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire. Agence Française pour la Biodiversité.
- Henner R (2013) Les têtes de bassin versant, des espaces à considérer pour une gestion durable et intégrée de la ressource en eau. Institution Interdépartementale du Bassin de la Sarthe.
- Hurst MR and Sheahan DA (2003) The potential for oestrogenic effects of pesticides in headwater streams in the UK. *Science of The Total Environment* 301(1–3): 87–96. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00288-7.
- Jaeger KL, Montgomery DR and Bolton SM (2007) Channel and Perennial Flow Initiation in Headwater Streams: Management Implications of Variability in Source-Area Size. *Environmental Management* 40(5): 775. DOI: 10.1007/s00267-005-0311-2.
- Jan A (2013) Etude du fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau de tête de bassin versant sur le Massif Armoricaïn. Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- Janisch JE, Foster AD and Ehinger WJ (2011) Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA. *Forest Ecology and Management* 261(7): 1265–1274.
- Jeanneau G and Le Bihan M (2018) Retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plan d'eau à l'échelle du territoire Bretagne, Pays de la Loire. Bretagne – Pays de la Loire: Agence Française pour la Biodiversité.
- Johnson BR, Fritz KM, Blocksom KA, et al. (2009) Larval salamanders and channel geomorphology are indicators of hydrologic permanence in forested headwater streams. *Ecological Indicators* 9(1): 150–159. DOI: 10.1016/j.ecolind.2008.03.001.

- Johnson SL (2004) Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61(6): 913–923.
- Kreutzweiser DP, Capell SS and Holmes SB (2009) Stream temperature responses to partial-harvest logging in riparian buffers of boreal mixedwood forest watersheds. *Canadian Journal of Forest Research* 39(3): 497–506. DOI: 10.1139/X08-191.
- La ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2015) Instruction du Gouvernement du 3 juin 2015 relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et à leur entretien. DEVL1506776J. Available at: [http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2015/06/cir\\_39701.pdf](http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2015/06/cir_39701.pdf) (accessed 2 September 2020).
- Lang Delus C (2011) Les étiages: définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires. Cybergeot: *European Journal of Geography*.
- Larned ST, Datry T, Arscott DB, et al. (2010) Emerging concepts in temporary-river ecology. *Freshwater Biology* 55(4): 717–738.
- Lauthe A (2012) L'avenir des peupleraies du Parc Naturel Régional des Boucles de la Seine normande: étude de recherche de reconversions pour les parcelles après l'exploitation de peupleraies. PhD Thesis.
- Le Bihan M (2009) L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57). ONEMA.
- Le Bihan M (2020) Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire. Non-publié: 61.
- Leduc C and Roy AG (2007) L'impact du drainage agricole souterrain sur la morphologie des petits cours d'eau dans la région de Cookshire, Québec. *Géographie physique et Quaternaire* 44(2): 235–239. DOI: 10.7202/032821ar.
- Leibowitz SG, Wigington Jr PJ, Rains MC, et al. (2008) Non-navigable streams and adjacent wetlands: addressing science needs following the Supreme Court's Rapanos decision. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(7): 364–371.
- Lowe WH and Likens GE (2005) Moving headwater streams to the head of the class. *BioScience* 55(3): 196–197.
- MacKenzie RA (2008) Impacts of riparian forest removal on Palauan streams. *Biotropica* 40(6): 666–675.
- Margat J (1971) Terminologie hydrogéologique. *Bull. BRGM, Sect. III* 1: 155–168.
- Mathieu A (2010) Quels pré-requis pour la restauration des cours d'eau enterrés en tête de bassin ? Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- Mc Donald D, de Billy V and Georges N (2018) Guide technique - Protection des milieux aquatiques en phase chantier. Agence Française pour la Biodiversité. Available at: <https://www.afbiodiversite.fr/actualites/guide-technique-protection-des-milieux-aquatiques-en-phase-chantier> (accessed 2 September 2020).

- McCabe DJ and Sykora JL (2000) Community structure of caddisflies along a temperate springbrook. *Archiv für Hydrobiologie*: 263–282. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/148/2000/263.
- McCartney MP, Neal C and Neal M (1998) Use of deuterium to understand runoff generation in a headwater catchment containing a dambo.
- METATM (2004) L'eau et la route. Ministère de l'équipement des transports, de l'aménagement du territoire, du tourisme et de la mer.
- Meyer Judy L., Strayer DL, Wallace JB, et al. (2007) The Contribution of Headwater Streams to Biodiversity in River Networks. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 43(1): 86–103. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00008.x.
- Meyer Judy L, Kaplan LA, Newbold D, et al. (2007) The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands.: 28.
- Michon G (2003) Ma forêt, ta forêt, leur forêt : perceptions et enjeux autour de l'espace forestier. *Bois et forêts des tropiques* 4(278): 10.
- Mols J, Defechereux O, Petit F, et al. (2007) Rencontres nationales techniques, gestion des ruisseaux de têtes de bassin et zones humides associées.
- Mondesir L (2017) Synthèse des connaissances et validation de protocoles pour l'hydromorphologie et la biologie des cours d'eau en tête de bassin versant (Rang de Strahler 1). Bretagne – Pays de la Loire: Agence Française pour la Biodiversité.
- Morelle S (n.d.) La gestion des ruisseaux de têtes de bassin dans le PNR des Vosges du Nord, l'exemple des cours d'eau sur grès Natura 2000.: 10.
- NatGeoFrance (2019) Climat : en France, les cycles caniculaires seront de plus en plus fréquents. Available at: <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/2019/09/climat-en-france-les-cycles-caniculaires-seront-de-plus-en-plus-frequents> (accessed 3 September 2020).
- Nguyen Van R (2011) Les altérations physiques en têtes de bassin versant sur les régions Bretagne-Pays de la Loire. Bretagne – Pays de la Loire: Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- Nowak C (2016) Onde, un dispositif pour surveiller et comprendre l'assèchement des cours d'eau en été.
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (2015) L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change: rapport au Premier ministre et au Parlement. Paris: La Documentation française.
- OFEV O fédéral de l'environnement (n.d.) Réseau hydrographique: ordre des cours d'eau pour le réseau hydrographique numérique au 1:25 000 de la Suisse. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-wasser/wasser--daten--indikatoren-und-karten/wasser--geodaten-und-karten/gewaessernetz-der-schweiz/gewaessernetz--flussordnungszahlen-fuer-das-digitale-gewaesserne.html> (accessed 30 August 2020).
- ONEMA and IGN (2015) Appui Onema et IGN à l'inventaire des cours d'eau police de l'eau – Volet information géographique.

- Oraison F, Souchon Y and Van Looy K (2011) Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments: une voie commune? PhD Thesis. irstea.
- Pasquini AI and Depetris PJ (2007) Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *Journal of hydrology* 333(2–4): 385–399.
- Paul MJ and Meyer JL (2001) Streams in the urban landscape. *Annual review of Ecology and Systematics* 32(1): 333–365.
- Peterson BJ, Wollheim WM, Mulholland PJ, et al. (2001) Control of Nitrogen Export from Watersheds by Headwater Streams. *Science* 292(5514): 86–90. DOI: 10.1126/science.1056874.
- Petranka JW (1998) Salamanders of the United States and Canada. Washington, District of Columbia: Smithsonian Institution Press. Available at: <http://passerelle.univ-rennes1.fr/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsglr&AN=edsgcl.21256108&lang=fr&site=eds-live> (accessed 30 August 2020).
- Poff NL, Allan JD, Bain MB, et al. (1997) The natural flow regime. *BioScience* 47(11): 769–784.
- Renard B (2006) Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. PhD Thesis. Thèse de doctorat, INP Grenoble.
- Rutherford JC, Marsh NA, Davies PM, et al. (2004) Effects of patchy shade on stream water temperature: how quickly do small streams heat and cool? *Marine and Freshwater Research* 55(8): 737. DOI: 10.1071/MF04120.
- Rycroft DW and Massey W (1975) The Effect of Field Drainage on River Flow. MAFF.
- Sadler Richards J (2004) A review of the enclosure of watercourses in agricultural landscapes and river headwater functions. Sarnia, ON, Fisheries and Oceans Canada. Ref Type: Report.
- Schneider J-B (2007) Plaidoyer pour une restauration des cordons rivulaires naturels des ruisseaux et ruisselets forestiers. *Forêt Wallonne* 86: 43–57.
- Schumm SA (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin* 67(5): 597–646.
- Sheridan CD and Spies TA (2005) Vegetation environment relationships in zero-order basins in coastal Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 35(2): 340–355.
- Sherwood AR, Rintoul TL, Müller KM, et al. (2000) Seasonality and distribution of epilithic diatoms, macroalgae and macrophytes in a spring-fed stream system in Ontario, Canada. *Hydrobiologia* 435(1): 143–152. DOI: 10.1023/A:1004011613137.
- Shreve RL (1967) Infinite topologically random channel networks. *The Journal of Geology* 75(2): 178–186.
- Sidle RC, Tsuboyama Y, Noguchi S, et al. (2000) Stormflow generation in steep forested headwaters: a linked hydrogeomorphic paradigm. *Hydrological Processes* 14(3): 369–385.
- Sidle RC, Gomi T and Tsukamoto Y (2018) Discovery of zero-order basins as an important link for progress in hydrogeomorphology. *Hydrological Processes* 32(19): 3059–3065.

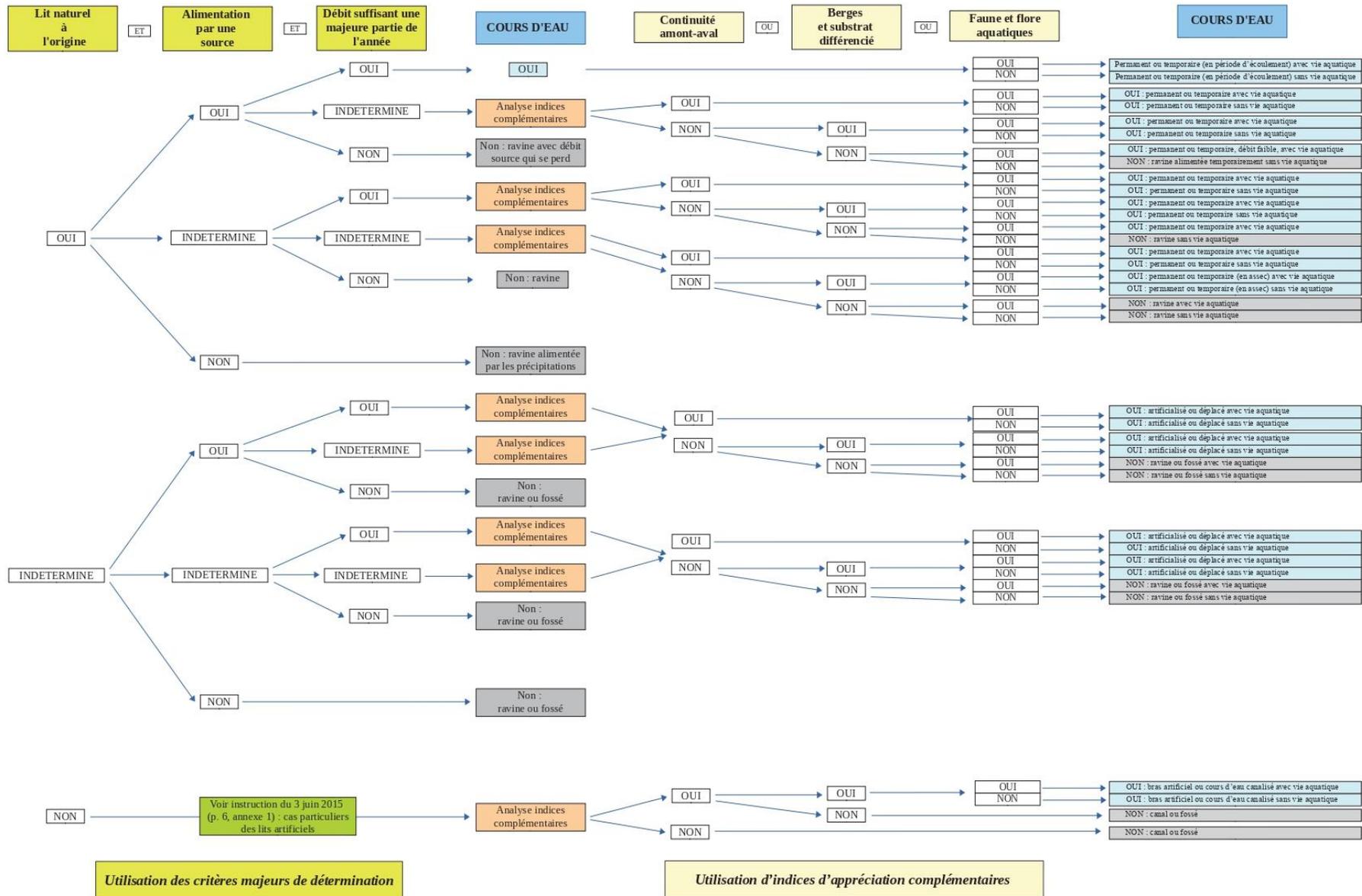
- SIGES Seine-Normandie (n.d.) Qu'est-ce qu'une source? Available at: <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?article416> (accessed 30 August 2020).
- Simon A, Outlaw GS and Thomas R (1989) Evaluation, modeling, and mapping of potential bridge scour, West Tennessee. In: Proc. National Bridge Scour Symp., Federal Highway Administration Report FHWA-RD-90-035, 1989, pp. 112–129.
- Snelder TH, Datry T, Lamouroux N, et al. (2013) Regionalization of patterns of flow intermittence from gauging station records.
- Storey R, Parkyn S, Smith B, et al. (2009) Effects of development on zero-order streams in the Waikato region. Environment Waikato.
- Stout B and Wallace JB (2003) A survey of eight aquatic insect orders associated with small headwater streams subject to valley fills from mountaintop mining. Mountaintop Mining/Valley Fills in Appalachia: Final Programmatic Environmental Impact Statement. US Environmental Protection Agency, Washington, DC <http://www.epa.gov/region3/mntop/pdf/appendices/d/StoutWallaceMacroinvertebrate.pdf>, accessed May 29: 2012.
- Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 38(6): 913–920.
- Stream Bryophyte Group (1999) Roles of Bryophytes in Stream Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 18(2): 151–184. DOI: 10.2307/1468459.
- Sweeney BW, Bott TL, Jackson JK, et al. (2004) Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(39): 14132–14137.
- Toronto and Region Conservation Authority (2007) The Natural Functions of Headwater Drainage Features: A Literature Review.
- Tournebize J (2017) Développement d'une méthode de détection de drain agricole : enjeu hydraulique du plateau de Saclay. Available at: [https://www6.inrae.fr/basc/content/download/3951/41361/version/1/file/5.+Journee\\_T%26C\\_BASC\\_111017\\_DRAIN-ACT.pdf](https://www6.inrae.fr/basc/content/download/3951/41361/version/1/file/5.+Journee_T%26C_BASC_111017_DRAIN-ACT.pdf) (accessed 2 September 2020).
- Tsuboyama Y, Sidle RC, Noguchi S, et al. (2000) A zero-order basin—Its contribution to catchment hydrology and internal hydrological processes. *Hydrological Processes* 14(3): 387–401.
- Tsukamoto Y (1973) Study on the growth of stream channel(1), relationship between stream channel growth and landslides during heavy storm. *Shin-sabo* 87: 4–13.
- Tsukamoto Y and Minematsu H (1987) Hydrogeomorphological characteristics of a zero-order basin. IAHS-AISH publication (165): 61–70.
- Valsangiacomo A (2017) Mise en place d'une base de données sur les caractéristiques hydromorphologiques de cours d'eau en tête de bassin versant. Agence Française pour la Biodiversité.

- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, et al. (1980) The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 37(1): 130–137.
- Viaud V and Thomas Z (2019) Une réflexion sur l'état des connaissances des fonctions du bocage pour l'eau dans une perspective de mobilisation pour l'action. *Sciences Eaux Territoires* (4): 32–37.
- Ward RC and Robinson M (1967) *Principles of hydrology*. McGraw-Hill New York.
- Wasson J-G (1998) *Impacts Écologiques de La Chenalisation Des Rivières*. Editions Quae.
- Wasson J-G, Chandesris A, Pella H, et al. (2004) Les hydro-écorégions: une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur leau.
- White MD and Greer KA (2006) The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning* 74(2): 125–138. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.11.015.
- Wipfli MS, Richardson JS and Naiman RJ (2007) Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems: Transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 43(1): 72–85.
- Wondzell SM (2006) Effect of morphology and discharge on hyporheic exchange flows in two small streams in the Cascade Mountains of Oregon, USA. *Hydrological Processes: An International Journal* 20(2): 267–287.
- Zhang Q, Jiang T, Gemmer M, et al. (2005) Precipitation, temperature and discharge analysis from 1951 to 2002 in the Yangtze Catchment, China. *Hydrological Sciences Journal* 50(1): 65–80.

## Annexes

Annexe 1: Logigramme de détermination des cours d'eau au titre de la police de l'eau.....	42
Annexe 2 Typologie d'occupation du sol selon Guillaume (2015).....	43
Annexe 3 : Paramètres relevés pour le calcul de l'indice d'artificialisation en TBV à l'échelle du segment (Le Bihan, 2020) et leurs modalités .....	44
Annexe 4 : Logigramme de caractérisation du réseau hydrographique en amont des cours d'eau.....	45

# ANNEXE 1 : LOGIGRAMME DE DETERMINATION DES COURS D'EAU AU TITRE DE LA POLICE DE L'EAU



Extrait du rapport de stage de Guillaume (2015) :

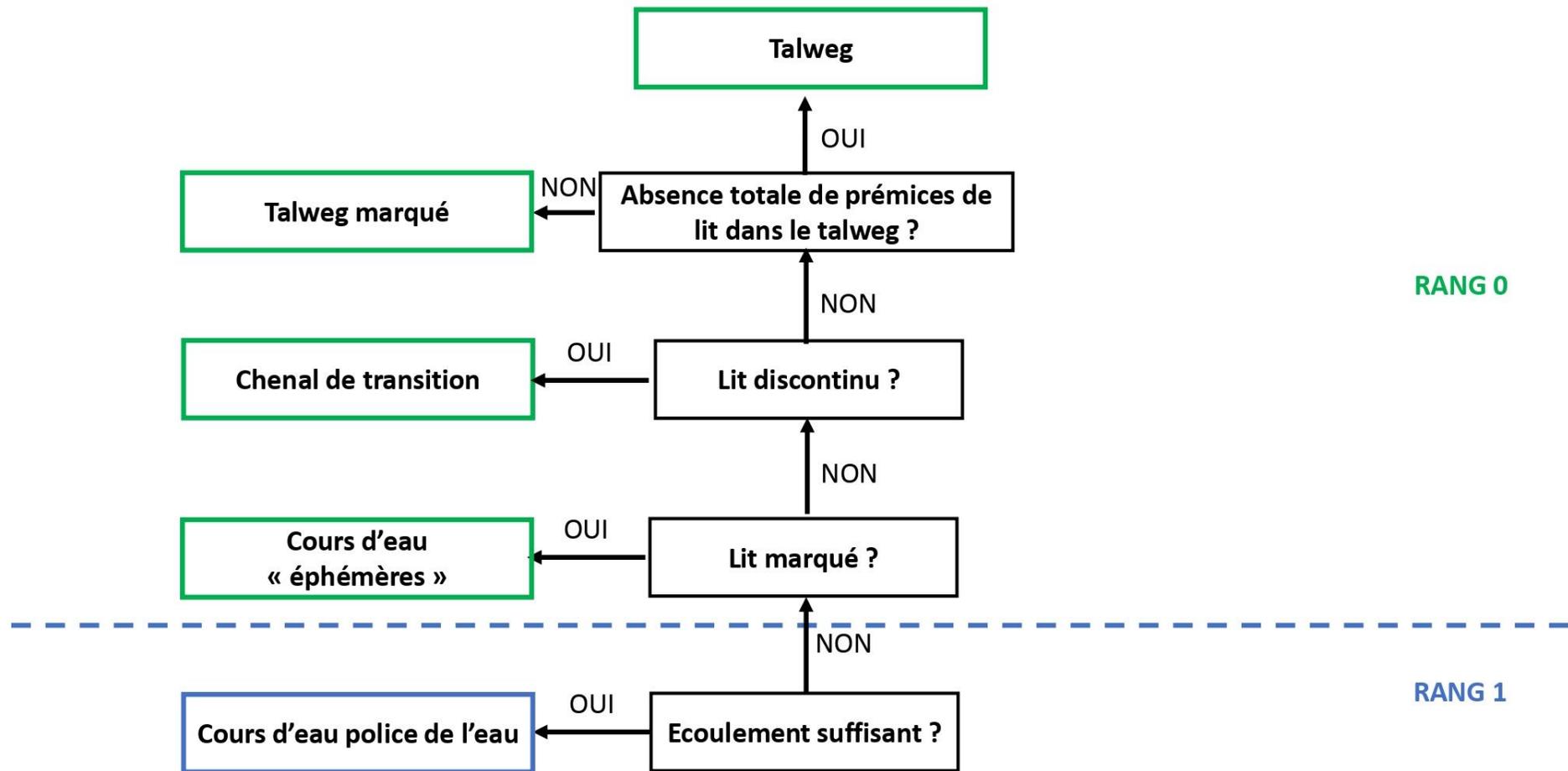
« La base de données CORINE Land Cover est un inventaire biophysique de l'occupation des terres. L'unité spatiale au sens de CORINE Land Cover est une zone dont la couverture peut être considérée comme homogène, ou être perçue comme une combinaison de zones élémentaires qui représente une structure d'occupation. Ces zones sont décrites selon une nomenclature européenne.

A partir de cette base de données, une typologie des sols est définie en retenant le recouvrement majoritaire selon différentes catégories retenues (Tableau), à l'échelle choisie.

<b>Typologie</b>	<b>Surface majoritaire</b>
<b>Semi-naturelle</b>	Forêts et espaces semi-naturels
<b>Mixte espaces semi-naturels et cultures</b>	Cultures majoritaires mais avec espaces semi-naturels >25%
<b>Prairies permanentes</b>	Prairies permanentes, les temporaires étant exclues
<b>Mixte prairies et cultures</b>	Cultures majoritaires mais avec prairies permanentes >25%
<b>Cultures</b>	Cultures, incluant les prairies temporaires
<b>Artificialisées</b>	Tissu urbain et construit

»

<b>Valeurs des indices intermédiaires au calcul de l'indice d'artificialisation du lit mineur</b>	<b>Note</b>
<b>Valeurs de l'indice intermédiaire "Talweg"</b>	
- dans le talweg	0
- en dehors du talweg	1
<b>Valeurs de l'indice intermédiaire "Sinuosité" (coeff. 2)</b>	
- sinueux à méandriformes	0
- limité par rapport à la sinuosité naturelle	0,5
- rectiligne	1
<b>Valeurs de l'indice intermédiaire "Classe d'Evolution Morphodynamique" (coeff. 2)</b>	
- Classe 1	0
- Classe 6 (évolution naturelle ou lit emboîté suffisamment large)	0,5
- Classe 2, 3, 4, 5	1
<b>Valeurs de l'indice intermédiaire "Rugosité"</b>	
- coefficient de rugosité K : $5 < K < 20$	0
- coefficient de rugosité K : $20 < K < 30$	0,5
- coefficient de rugosité K : $K > 30$	1
<b>Valeurs de l'indice intermédiaire "Protection des berges - Enterrement"</b>	
- absence de protection de berges	0
- présence de protection de berges de type génie végétal	0,25
- présence de protection de berges sur les berges du lit mineur	0,5
- présence de protection de berges sur les berges et le fond du lit mineur	0,75
- 100% d'enterrement (par couverture, busage, drainage ou comblement)	1





## Résumé

A l'amont des têtes de bassin versant et des premiers cours d'eau se situent les rangs zéro, un sous-ensemble peu connu du réseau hydrographique parfois nommé l'« Aqua Incognita ». Ceux-ci abritent les zones de source ainsi que les premiers écoulements de surface et sont susceptibles de présenter des zones humides. Petites et omniprésentes, ces interfaces de premier plan entre les milieux terrestres et les cours d'eau s'avèrent profondément dégradées.

L'étude, menée sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire, a permis de constater que ces zones sont soumises à des travaux hydrauliques quasi-systématiques. Sur les 93 stations prospectées, aucune n'est exempte de traces de modifications par l'Homme et 75% d'entre elles cumulent des pressions de natures différentes. Le drainage a été observé sur 68,5% des stations, souvent à proximité des routes mais également dans des contextes agricoles et forestiers. L'axe cartographique développé pendant l'étude pose la question de la délimitation de ces zones, rendue difficile dans des contextes anthropisés.

Les rangs zéro ne bénéficient à l'heure actuelle d'aucune forme de protection réglementaire. Il semble urgent de reconnaître l'existence de ces milieux et de mettre en place de nouvelles dispositions visant à intégrer leur protection dans les documents d'urbanisme et dans les SAGE. Face aux enjeux du changement climatique, les rangs zéro et leurs zones humides, sources de nos rivières, pourraient bien constituer des atouts essentiels pour la préservation de la ressource en eau.

**Mots-clés :** Têtes de bassin versant, rangs zéro, source

## Abstract

At the top of the headwaters and the first streams are the zero order streams, a little-known subset of the hydrographic network, sometimes referred to as « Aqua Incognita ». These ones shelter the source areas as well as the first surface streams and are likely to present wetlands. Small and ubiquitous, these prominent interfaces between terrestrial environments and rivers turn out to be deeply degraded.

The study, carried out in Brittany-Pays de la Loire, found that these areas are subject to almost systematic hydraulic engineering. Of the 93 stations surveyed, none is free from traces of human modification and 75% of them accumulate different kinds of pressures. Drainage was observed at 68.5% of the stations, often near roads but also in agricultural and forestry contexts. The cartographic axis developed during the study raises the question of the delimitation of these zones, which is made difficult in anthropized contexts.

Zero order streams do not currently enjoy any form of regulatory protection. It seems urgent to recognize the existence of these environments and to put in place new measures aimed at integrating their protection into urban planning documents and SAGEs. Faced with the challenges of climate change, zero order streams and their wetlands, springs of our rivers, could well constitute essential assets for the preservation of water resources.

**Keywords :** Headwaters, zero order streams, zero order channels, springs, hillslopes