



# Valorisation de la connaissance des obstacles à l'écoulement

*Calcul de trois indicateurs hydromorphologiques  
complémentaires de pression sur les cours d'eau*

---

**Rapport final**

**Anthony VIERRON (OFB)  
Pierre STEINBACH (OFB)**

**Décembre 2020**

## AUTEURS

**Anthony VIERRON**, Chargée de mission valorisation des données ROE-ICE-BDOe (OFB), Direction régionale Centre Val de Loire, [anthony.vierron@ofb.gouv.fr](mailto:anthony.vierron@ofb.gouv.fr)

**Pierre STEINBACH**, Chargé de mission en appui à la planification et aux acteurs (OFB), coordination de bassin Loire-Bretagne, Direction régionale Centre Val de Loire, Directeur de la Base de données sur les obstacles à l'écoulement (BDOe), [pierre.steinbach@ofb.gouv.fr](mailto:pierre.steinbach@ofb.gouv.fr)

## CONTRIBUTEURS

**Soizic FABRE**, Chargée de mission en appui aux politiques de l'eau (AFB)

**Jean-Philippe GOYEN**, Géomaticien, Chargé de mission données et outils de valorisation (OFB), [jean-philippe.goyen@ofb.gouv.fr](mailto:jean-philippe.goyen@ofb.gouv.fr)

**Droits d'usage** : Accès libre

**Niveau géographique** : National

**Couverture géographique** : France

**Niveau de lecture** : Professionnels

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Contexte</b> .....	<b>5</b>
1.1 Notion de continuité écologique.....	5
1.2 Les obstacles à l'écoulement.....	5
<b>2 La connaissance des obstacles à l'écoulement</b> .....	<b>7</b>
2.1 Les outils OFB composants de GéObs .....	7
<b>3 Evaluation de la pression « ouvrages »</b> .....	<b>9</b>
3.1 Généralités .....	9
3.2 Partie « ouvrage » .....	14
3.3 Partie « cours d'eau ».....	22
3.4 Calcul des indices.....	27
3.5 Résultats des indicateurs.....	29
3.6 Comparaison des résultats selon la couche « cours d'eau » utilisée .....	40
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	<b>45</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>47</b>
<b>Table des cartographies</b> .....	<b>49</b>
<b>Table des graphiques</b> .....	<b>49</b>
<b>Tables des illustrations</b> .....	<b>50</b>
<b>Table des tableaux</b> .....	<b>50</b>
<b>Table des annexes</b> .....	<b>51</b>
Annexe 1 : Méthode de sélection des ouvrages (1/2) .....	52
Annexe 1 : Méthode de sélection des ouvrages (2/2) .....	53
Annexe 2 : Détail des médianes de hauteurs de chute .....	54
Annexe 3 : Médianes de hauteurs de chute pour les ouvrages n'ayant qu'une classe ROE correspondant à « supérieure ou égale à 10m » .....	64
Annexe 5 : Script SQL pour le calcul des indices avec la couche cours d'eau RHT.....	75
Annexe 6 : Résultats des indicateurs sur les drains principaux des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne .....	89
Annexe 7 : Répartition des hauteurs de chutes modélisées par calcul de la médiane.....	94
Annexe 8 : Tableau des hauteurs de chute « aberrantes », remplacées par une hauteur modélisée .	96

## Introduction

Le développement agricole et urbain a modifié les bassins versants et génère de nombreuses pressions qui affectent fortement la fonctionnalité des écosystèmes aquatiques.

Dans les cours d'eau, de très nombreux ouvrages hydrauliques transversaux<sup>1</sup> ont été construits depuis le moyen âge (seuils de moulins notamment). Ils ont souvent été rehaussés et transformés au cours de l'ère industrielle (ouvrages hydroélectriques ou de navigation). Des barrages de dimension plus importante ont également été érigés au cours du vingtième siècle pour augmenter la production hydroélectrique et l'alimentation en eau potable. D'autres ouvrages ont été érigés récemment en relation avec les travaux d'aménagement hydraulique agricole et le développement de l'irrigation (barrages à clapets, retenues collinaires) ou le développement d'activités récréatives (étangs, plan d'eau de loisirs). Ces ouvrages modifient la dynamique des cours d'eau, entravent la libre circulation des espèces aquatiques et des sédiments. Ils engendrent aussi de nombreux impacts cumulatifs qui se répercutent globalement sur la pérennité des écoulements et la qualité des eaux.

L'ONEMA, l'Agence Française pour la Biodiversité, et aujourd'hui l'Office Français de la Biodiversité ont développé des outils de « connaissance », notamment sur l'hydromorphologie des cours d'eau et leur continuité. Actuellement, le référencement en cours sur les 430 000 km de cours d'eau du territoire métropolitain compte plus de 104 302 obstacles à l'écoulement, ce qui correspondrait à un obstacle tous les 4,1 km, mais le recensement est loin d'être complet (Référentiel des Obstacles à l'Écoulement - ROE- 30/09/2020).

L'objet du présent rapport est de valoriser les données regroupées sur la base de cet inventaire national (notamment la position, la typologie, l'état et la hauteur des obstacles) pour évaluer la pression que ces ouvrages exercent sur les cours d'eau, ceci sous trois angles complémentaires :

- l'hydromorphologie au sens large à travers le taux d'étagement (TE), visant l'effet cumulé des impacts de type « retenue »,
- la continuité écologique longitudinale de façon plus spécifique, à travers le taux de fractionnement (TF), visant l'effet cumulé des impacts de type « barrière »,
- la densité d'obstacle (DO) pour compléter l'expression des taux d'étagement et fractionnement en termes de dénombrement le long des cours d'eau.

Eu égard aux effets cumulatifs des obstacles qui s'étendent à l'ensemble du continuum fluvial, le découpage du réseau hydrographique en parties de cours d'eau pertinentes pour le calcul de ces taux constitue la principale difficulté méthodologique de l'évaluation.

---

<sup>1</sup> Les ouvrages hydrauliques transversaux sont aussi appelés « obstacles à l'écoulement ».

# 1 Contexte

## 1.1 Notion de continuité écologique

L'Union Européenne a adopté la Directive cadre sur l'eau le 23 octobre 2000 (DCE). Les états membres de l'Union fixent des objectifs environnementaux et des échéances pour atteindre un bon état écologique et chimique des masses d'eau (Eau France 2000; Commission européenne 2019). La continuité écologique est un élément de qualité essentiel à prendre en compte dans le cadre de l'application de la directive.

Ces questions de continuité écologique sont sensibles car elles confrontent deux enjeux patrimoniaux, le patrimoine hydraulique et le patrimoine écologique. Souvent perçue comme « destructrice », notamment par les propriétaires d'anciens moulins et les gestionnaires d'ouvrages hydroélectriques, cette politique est délicate à mettre en œuvre (BRANDEIS and MICHEL 2016; actu-environnement 2017).

## 1.2 Les obstacles à l'écoulement

### 1.2.1 Catégorisation des ouvrages

La continuité écologique des cours d'eau est interrompue par les ouvrages transversaux en fonction de leur type, dimension, équipement, mode de gestion et nombre. Ces obstacles ont été construits pour répondre à de nombreux usages (utilisation de la force motrice, irrigation, eau potable, navigation, loisirs ...) (Weingertner and Roussel 2010). Exceptionnellement, de nouveaux ouvrages peuvent encore être construits aujourd'hui. Les plus impactants sur l'hydromorphologie et la continuité des cours d'eau sont répertoriés parmi trois grands types dans le ROE :

- seuil : petit ouvrage transversal ne barrant que le lit mineur, au maximum jusqu'à son niveau de plein bord. Sa hauteur totale est généralement inférieure à 5 m (Baudoin et al. 2014),
- barrage : ouvrage barrant plus que le lit mineur et créant une retenue dans le fond de vallée (Malavoi and Salgues 2010),
- obstacle induit par un pont. La construction d'un pont peut, selon son architecture, créer un obstacle à l'écoulement dans le lit du cours d'eau (Léonard et al. 2014).



Figure 1 : de gauche à droite : le barrage de Grangent sur la Loire, le seuil de l'ancien moulin d'Uzu sur le Thouet, l'obstacle induit par le pont de Belleville-sur-Loire ; crédit photo : Pierre Steinbach

Les obstacles à l'écoulement contraignent les possibilités de déplacement de la faune et flore aquatique et des sédiments. Ce type d'impact sur la circulation des différentes cibles visées par la continuité écologique des cours d'eau est appelé « effet barrière » (Berthier and Steinbach 2016a). Les impacts des ouvrages transversaux ne se limitent pas seulement à l'entrave des flux, ils transforment également l'hydromorphologie des rivières (ralentissement des vitesses d'écoulement, augmentation de la profondeur, stockage des sédiments) ainsi que la physicochimie de l'eau (ph, turbidité, température, concentration en oxygène, évaporation ...). C'est ce que l'on appelle l'« effet retenue ». De ce fait, les ouvrages appauvrissent en qualité et en quantité la diversité des habitats disponibles.

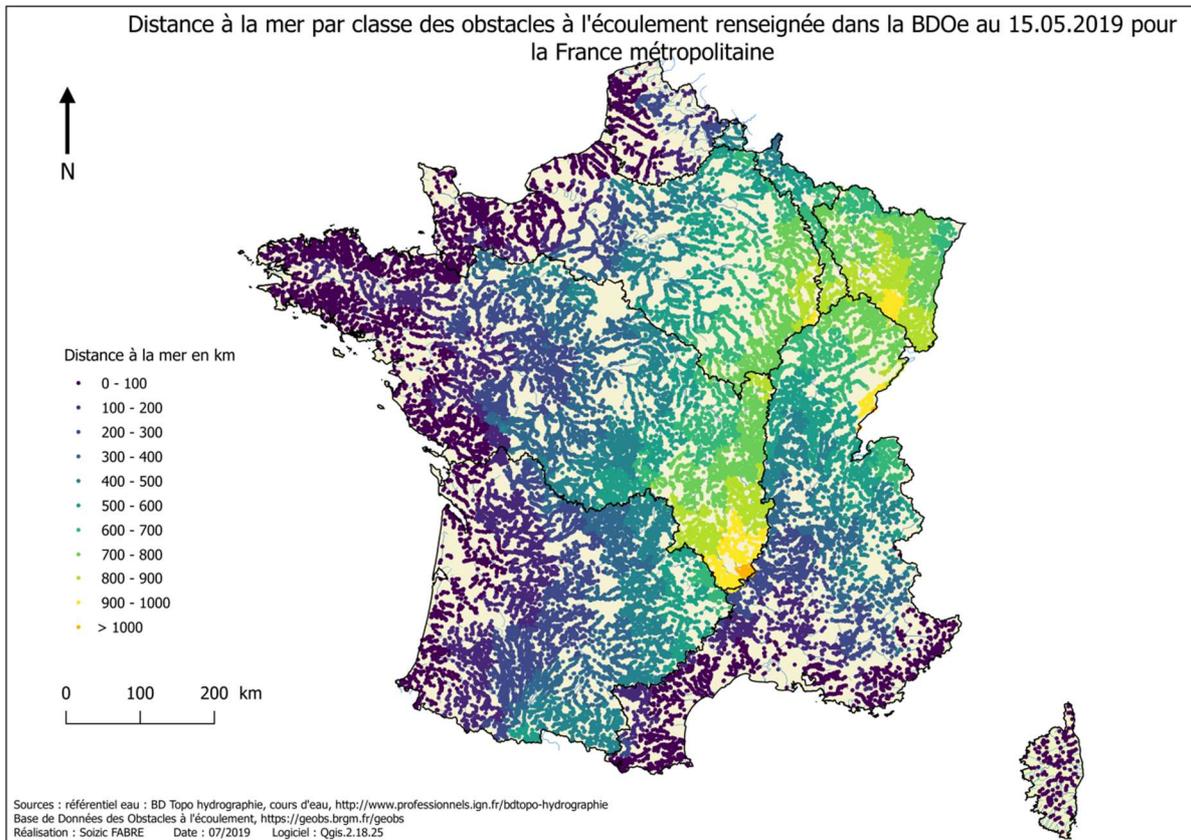
### 1.2.2 Quantité d'obstacles

La connaissance des obstacles à l'écoulement est essentielle pour la mise œuvre des politiques de reconquête du bon état des eaux et de l'hydromorphologie des cours d'eau (Directive cadre sur l'eau, Loi sur l'eau et les milieux aquatiques, Plan d'action pour une politique apaisée de restauration de la continuité écologique...).

Afin de répondre à ces objectifs, l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (aujourd'hui OFB) a mis en place des outils et protocoles visant à structurer et rassembler la connaissance sur les obstacles à l'écoulement de façon homogène à toutes les échelles jusqu'au niveau national. En 2020, l'inventaire ROE apparaît relativement complet sur les cours d'eau de grand et moyen gabarit. En revanche, il est loin d'être exhaustif sur les petits cours d'eau. Sa complétude est encore limitée par rapport aux très nombreux passages busés, étangs et autres aménagements qui font obstacles à l'écoulement sur le chevelu hydrographique des bassins versants.

Compte tenu de l'emprise hydrographique très étendue des obstacles à l'écoulement à l'échelle du territoire (cartographie 1 ci-dessous) et des différents impacts qu'ils génèrent, il est essentiel d'entretenir la dynamique de partage d'informations dans l'outil de bancarisation, d'identification et de caractérisation des ouvrages, nommé GéObs (Géo-référencier des Obstacles, application OFB), qui permet de rassembler l'essentiel des données disponibles.

En effet, la connaissance des obstacles est nécessaire à de très nombreuses démarches de diagnostic, de planification et d'action pour la reconquête du bon état des eaux aux plans qualitatif, quantitatif et écologique.



Cartographie 1 : Les obstacles à l'écoulement recensés en 2019 et leurs distances à la mer

## 2 La connaissance des obstacles à l'écoulement

### 2.1 Les outils OFB composants de GéObs

Pour rassembler les données sur les ouvrages et répondre aux besoins de leurs utilisateurs, l'OFB a développé dans l'application GéObs, trois outils de bancarisation.

#### 2.1.1 Le ROE

Le Référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE) est le premier dispositif mis en place pour regrouper au niveau national les informations existantes sur les obstacles à l'écoulement. Il a été conçu en 2008 en commençant par centraliser et unifier 28 bases de données issues de différents organismes : Conseil supérieur de la pêche/ONEMA, Agences de l'eau, Voies Navigables de France, Electricité De France (Berthier and Steinbach, 2016b; Agence Française pour la Biodiversité 2019). Il recense les obstacles artificiels en leur attribuant des informations essentielles d'identification et de caractérisation (données obligatoires du ROE : code national unique, localisation, typologie, état et statut de validation). Issu des bases initiales, ce référentiel intègre également certaines « données métiers » plus variables (hauteur de chute, usage ...).

Les données du référentiel ROE sont enrichies en permanence par les agents et partenaires de l'OFB et diffusées depuis 2014 par le Sandre dans le cadre du Système d'Information sur l'Eau. C'est aussi en 2014 que la règle des « champs obligatoires » a été mise en place pour mieux cataloguer les ouvrages dans le référentiel (identification complète). Ainsi, seuls les obstacles disposant d'un code national, d'un nom, de coordonnées précises, d'un type et d'un état peuvent désormais être validés dans le ROE par les agents de l'OFB.

### 2.1.2 ICE

De façon très spécifique, le concept « Information sur la continuité écologique » (ICE) est un protocole qui vise à diagnostiquer l'impact d'une partie d'obstacle sur la libre circulation des poissons à la montaison. Le résultat de ce diagnostic est exprimé suivant quatre classes de franchissabilité définies pour une espèce ou un groupe d'espèces donnés.

L'opérateur (OFB ou partenaire formé) qui applique ce protocole identifie, pour chaque partie d'ouvrage, la géométrie et les conditions hydrauliques rencontrées au droit de l'obstacle. Après bancarisation, l'outil ICE confronte les métriques hydrauliques qui découlent des relevés avec les capacités physiques des espèces ciblées. La méthode nécessite de relever le profil en long de chaque partie d'ouvrage. Les opérations sont généralement réalisées à l'étiage. Ensuite, la validation des résultats nécessite souvent des relevés complémentaires de ligne d'eau dans les conditions normales de migration des espèces ciblées. Un document de référence détaillé définit les fondements de la mise en œuvre de ce protocole (Baudoin et al. 2014).

### 2.1.3 BDOe

Les deux premiers outils (ROE et ICE), ne sont pas conçus pour prendre en charge la bancarisation des données relatives à la gestion des ouvrages. C'est pour répondre aux besoins complémentaires essentiels à la gestion des eaux et des aménagements que la Base de données des obstacles à l'écoulement (BDOe) a été développée au sein de l'application GéObs en relation étroite avec le référentiel (ROE).

Ainsi, depuis octobre 2018, la BDOe intègre la donnée « hauteur de chute à l'étiage » du ROE et permet de préciser cette variable essentielle avec la date de la mesure et la source de l'information. L'outil propose également de nombreux champs complémentaires à renseigner ou valider pour chaque ouvrage ou aménagement (module de l'écoulement, débit maximal de prise d'eau autorisé, existence légale, mesures correctives mises en place, arasement/dérasement, dates d'opérations, avis technique global sur le traitement de l'obstacle, etc.). La quantité d'informations qu'il est possible de renseigner pour chaque ouvrage est conséquente. Dans un premier temps, il est demandé de compléter des informations essentielles (hauteur de chute, date de mesure de la hauteur de chute, arasement ou dérasement éventuels, débit maximum prélevé, hydroélectricité, conformité en termes d'avis technique global sur le franchissement piscicole) et de commencer par la caractérisation des ouvrages situés sur les cours d'eau prioritaires en termes d'enjeux réglementaires et de gestion.

La BDOe est un module de GéObs interne à l'OFB. Parallèlement au ROE, son animation par les directions régionales et son utilisation constructive par les agents des services départementaux de l'OFB permettent de mettre à jour les données obligatoires du référentiel qui sont parfois obsolètes ou erronées dans le ROE (état, type, position sur l'axe et liaisons transversales).

## 3 Evaluation de la pression « ouvrages »

Ce chapitre central présente la méthodologie de calcul des indices de pression « ouvrages ». Différents supports hydrographiques peuvent être utilisés pour appliquer la somme des pressions générés par les obstacles. Les deux premiers supports examinés correspondent à des référentiels nationaux. Ils sont utilisés en priorité car ils répondent aux besoins de tous les bassins (économie d'échelle et soucis d'harmonisation sur l'ensemble du territoire). Ainsi, pour répondre aux besoins de l'ensemble des bassins, on utilise soit la couche SYRAH (SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie), soit le RHT (Réseau Hydrographique Théorique). Le troisième support n'est utilisé que pour un bassin. Il répond au besoin de conception du premier indicateur de pression basé sur la hauteur de chute des ouvrages (taux d'étagement des masses d'eau cours d'eau en Loire-Bretagne). Cette méthode consiste à calculer directement la pression « ouvrages » sur la couche des drains principaux qui délimite les masses d'eau. La limite de ce support est qu'il n'est disponible qu'en Loire-Bretagne.

Après le développement de la méthode, les résultats synthétiques du calcul des taux sont présentés par indice et par support de découpage. Seuls les résultats des supports RHT et SYRAH sont détaillés et comparés dans le corps de ce document. Les résultats basés sur le découpage des drains principaux des masses d'eau Loire-Bretagne sont quant à eux présentés dans l'annexe 6.

### 3.1 Généralités

#### 3.1.1 Retour sur les travaux antérieurs (2009-2020)

Depuis le premier cycle de la DCE (SDAGE 2009-2015), la pression hydromorphologique générée par des ouvrages transversaux est évaluée à travers le « **taux d'étagement** » des cours d'eau sur le réseau hydrographique du bassin Loire-Bretagne. En complément de cet indice, le SDAGE 2016-2021 a introduit une métrique supplémentaire appelée « **taux de fractionnement** » pour suivre plus spécifiquement l'effet barrière des ouvrages et la restauration de la continuité écologique *sensu stricto*. Ces deux indices consistent à évaluer la pression cumulée des obstacles sur un tronçon de cours d'eau en mesurant la somme de leurs hauteurs de chute. Ils sont complétés par le calcul de la **densité d'ouvrages** (Secrétariat technique de bassin Loire Bretagne, 2017) (Berthier and Steinbach, 2016a). La méthode de calcul de ces indices est détaillée dans le paragraphe 3.1.2.

En 2015, Berthier et Steinbach réalisent les premiers calculs généralisés de ces indices à l'échelle du bassin Loire-Bretagne, puis à l'échelle nationale (2016) dans un objectif de mutualisation des travaux de bancarisation et de valorisation de la donnée. Ils rédigent la « méthode du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement ». Cette méthode est appliquée à partir de la seule source de donnée alors disponible sur les ouvrages transversaux : le ROE. Ce calcul d'indices a été mis à jour en 2018 à deux échelles (bassin LB et tous les bassins) pour répondre aux besoins de l'Etat des lieux de la DCE (EDL 2019).

Depuis le dernier trimestre 2018, le déploiement de la BDOe permet de capitaliser les différentes hauteurs de chute bancarisées dans les deux premiers modules de GéObs (ROE, ICE) et d'en bancariser de nouvelles, de façon adaptée aux besoins de calcul des taux d'étagement et de fractionnement. En effet, la BDOe permet d'ajouter facilement de nouvelles valeurs de hauteurs de chute, en ciblant plus précisément les conditions d'étiage et en précisant la date de la mesure, ainsi que la source de l'information bancarisée. Courant 2019, une cartographie correspondant aux données essentielles de l'export BDOe (hauteur de chute, arasement, équipement...) a été réalisée et diffusée aux services territoriaux, dans le souci d'encourager le partage de l'information via GéObs, de mettre en qualité la donnée, puis de réitérer le calcul des indices de pression avec plus de précision.

Au deuxième semestre 2019, l'assemblage des données hauteur de chute de GéObs a permis de réaliser une nouvelle évaluation de la pression des ouvrages pour le suivi de l'état des lieux de l'ensemble des bassins. Cette version a notamment pu être intégrée à temps dans l'EDL 2019 du bassin Loire-Bretagne.

Désormais, la mise à jour des indices de pression hydromorphologique (étagement, fractionnement, densité) doit pouvoir être effectuée chaque année, pour suivre la pression « ouvrages » dans la durée, de façon opérationnelle et non plus par à-coup une fois tous les 6 ans.

Depuis septembre 2020, l'onglet export de la BDOe permet aux agents de l'OFB de récupérer directement, à leur échelle, toutes les données de hauteurs de chute contenues dans GéObs, ainsi que toutes les données importantes concernant le traitement des obstacles à la continuité écologique (export partiel « de base » BDOe). Dans le même temps, cet export facilite le repérage des besoins d'enrichissement et de mise en qualité de la donnée (hauteur de chute à l'étiage, arasements, équipements, avis technique global...).

La méthode de calcul a été modifiée successivement à l'occasion des mises à jour 2019 et 2020 pour améliorer la robustesse des indices de pression.

### 3.1.2 Les indices calculés

Comme présenté au chapitre précédent, trois indices physiques complémentaires permettent de qualifier les pressions générées par les obstacles à l'écoulement :

#### - Taux d'étagement

Le taux d'étagement est calculé en faisant le **rapport entre le cumul des hauteurs de chutes artificielles et le dénivelée du profil en long du cours d'eau**. Le résultat du calcul du taux d'étagement est adimensionnel. Pour plus de lisibilité, il est multiplié par cent et présenté en pourcentage (%).

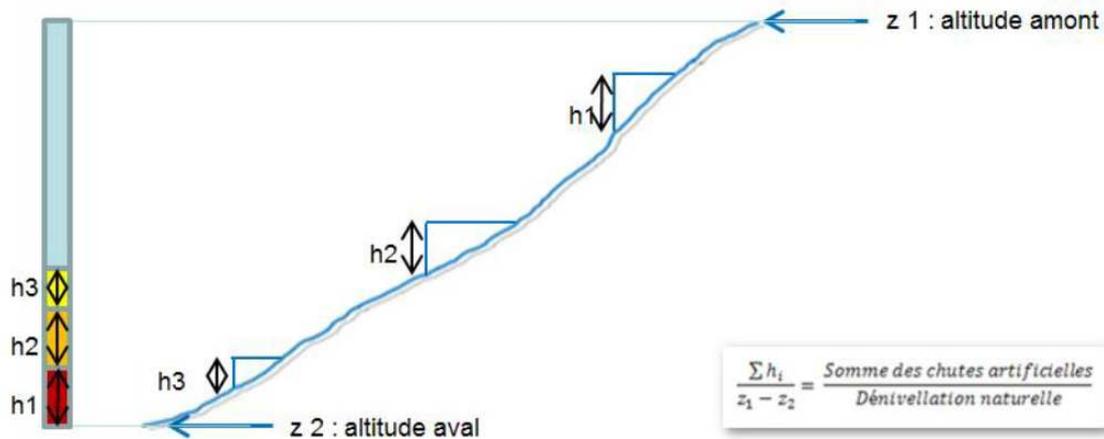


Figure 2: Schématisation des données appelées pour le calcul du taux d'étagement et représentation de son calcul.  
Source : Berthier, Steinbach, 2016, Méthode de calcul du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement

Le taux d'étagement **permet de caractériser l'effet « retenue » des ouvrages**, c'est-à-dire la perte d'écoulement naturel engendré par les obstacles. Il peut s'interpréter comme la part du linéaire de cours d'eau transformée en plan d'eau. L'effet « retenue » d'un cours d'eau (zone de remous) ne peut être atténué que par l'arasement ou le dérasement d'ouvrages<sup>2</sup>.

Pour une somme de hauteurs de chute et un linéaire de cours d'eau donnés, la valeur du taux d'étagement dépend de la pente moyenne du linéaire évalué. Il est difficile d'étendre cet indicateur à l'ensemble du cours d'eau, d'autant plus que son profil en long varie fortement, notamment vers les têtes de bassin là où, en règle générale, la pente s'accroît rapidement jusqu'à la source.

Pour cette raison, la fiche d'aide à la lecture du SDAGE Loire-Bretagne conseille de calculer cet indice sur un réseau hydrographique élagué des parties de cours d'eau de rang de Strahler 1<sup>3</sup> de la BD Carthage (ou 1 et 2 de la BD Topo<sup>4</sup>). Le lissage des variations de profil est moins problématique sur les axes médians du réseau hydrographique, là où le réseau est plus concentré et la pente plus régulière (Berthier and Steinbach 2016a; Secrétariat technique de bassin Loire Bretagne 2017).

#### - Taux de fractionnement

Ce descripteur est le **rapport entre le cumul des hauteurs de chutes artificielles connues à l'étiage et la longueur du cours d'eau**. Comme le taux d'étagement, le taux de fractionnement est un résultat adimensionnel. Ce rapport est multiplié par mille et présenté en ‰ dans la même unité que la pente du cours d'eau à laquelle il s'apparente.

<sup>2</sup> Le taux d'étagement varie uniquement suite aux modifications de hauteur de chute, c'est-à-dire en cas d'arasement ou d'ouverture permanente des parties mobiles. L'existence d'une passe à poissons ne réduit pas l'effet « retenue » d'un ouvrage et ne modifie donc pas la valeur du taux d'étagement (Secrétariat technique de bassin Loire Bretagne 2017).

<sup>3</sup> Les nombres de Strahler mesurent la complexité d'une arborescence en hiérarchisant les branches d'un réseau hydrographique d'amont en aval. Les tronçons ayant un rang 1 sont les sources jusqu'aux premières confluences. Les nombres de Strahler évoluent le long du réseau lorsque deux tronçons de même rang confluent. Le nombre de Strahler supérieur aux tronçons amont est alors attribué au linéaire aval de cette confluence (Souchon et al. 2000).

<sup>4</sup> Selon le réseau hydrographique couvert par les couches cours d'eau, les rangs de Strahler sont différents. Dans cette méthodologie, il a été choisi de supprimer les rangs 1 des couches cours d'eau ayant l'attribut « nombre de Strahler » (SYRAH et RHT). Il serait intéressant de comparer les rangs de Strahler 1 de la BD Carthage aux rangs des couches utilisées.

Exprimé sous un angle différent, le taux de fractionnement **correspond à la somme des obstacles rencontrés le long d'un axe hydrographique** (ou d'une partie de cours d'eau) **en pondérant l'effet barrière de chaque obstacle par sa hauteur de chute.**

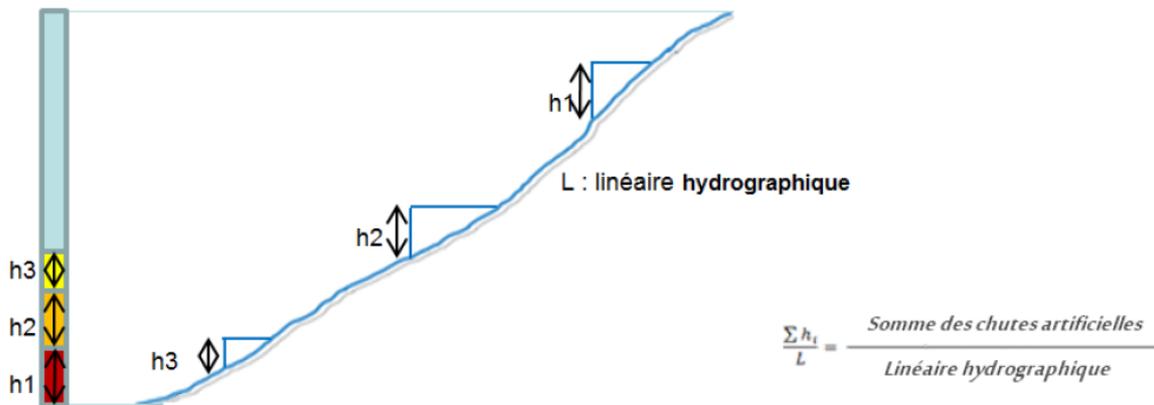


Figure 3 : Schématisation des données appelées pour le calcul du taux de fractionnement et représentation de son calcul. Source : Berthier, Steinbach, 2016, Méthode de calcul du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement

Le taux de fractionnement **permet de caractériser l'effet « barrière » des ouvrages**, c'est-à-dire l'altération des conditions de circulation longitudinale, en particulier pour évaluer la perte de continuité biologique dans son ensemble.

Comme le taux d'étagement, il est proportionnel à la hauteur de chute des ouvrages. Les deux indices sont par contre insensibles à la distribution de la hauteur de chute d'un ouvrage à l'autre. Cette approche lisse le caractère bloquant ou transparent d'obstacles singuliers lorsque la distribution des hauteurs de chute est hétérogène. A titre d'exemple, l'effet de dix obstacles de 20 cm est appréhendé comme celui d'un seul ouvrage de 2 m (Alterre Bourgogne 2019).

Contrairement au taux d'étagement qui ne prend en compte que le traitement systématique des obstacles (arasement ou dérasement), l'existence d'une passe à poisson fonctionnelle<sup>5</sup> réduit en principe le taux de fractionnement (réduction de l'effet barrière pour des espèces piscicoles ciblées). Ainsi, lorsque qu'un ouvrage est équipé de dispositifs de franchissement jugés globalement performant **à la montaison et à la dévalaison, pour toutes les espèces à prendre en compte**, il n'est pas intégré dans le calcul du taux de fractionnement.

Le choix de supprimer la hauteur de chute de certains ouvrages dans le calcul du taux de fractionnement est fait de façon à répondre globalement à différents problèmes :

- il n'existe toujours pas de méthode normalisée permettant d'identifier de façon homogène les **dispositifs de franchissement efficaces** ;
- la suppression totale de la hauteur de chute assimile les dispositifs de franchissement à des dérasements complets, alors que **l'impact résiduel d'un ouvrage équipé est toujours significatif au plan écologique** (impact résiduel incompressible pour l'effet barrière et absence de réduction d'impact pour l'effet retenue) ;

<sup>5</sup> L'intégration de l'ensemble des données Geobs permet d'apporter l'information « fonctionnalité » aux équipements d'ouvrages. Cette amélioration n'est pas réalisable avec le ROE comme seule source de donnée.

- à contrario, le choix de ne retirer du calcul que les aménagements efficaces (approchant 100 % de taux de franchissement et ceci sans retard) masquerait les gains écologiques, certes partiels mais réels, que peuvent apporter des équipements correctement conçus et gérés.

Pour répondre à cette problématique, **le choix entre trois solutions est proposé par le secrétariat technique du bassin Loire-Bretagne** (*commission administrative de bassin du 16/06/2017*). Les variantes sont les suivantes en termes d'indice de fractionnement :

- Le taux de fractionnement brut : approche simplifiée permettant de disposer, en première approche, de la référence la plus élevée, commune à tous les territoires et à toutes les échelles jusqu'au niveau national. **Les dispositifs de franchissement aménagés pour les poissons migrateurs ne sont pas pris en compte en termes de fractionnement brut**. On conserve la hauteur de chute de tous les ouvrages équipés. Cette première approche est justifiée par l'absence de données fiables et homogènes à large échelle, concernant l'existence et l'efficacité réelle des dispositifs de franchissement. En tout état de cause, le concept de fractionnement brut reste pertinent pour deux raisons : (i) les équipements migratoires ne réduisent jamais à 100% l'effet barrière des obstacles (ii) dans le cadre du suivi des actions de restauration de la continuité écologique, il est nécessaire de pouvoir faire référence au taux de fractionnement initial ou maximal pour évaluer le bénéfice des travaux d'équipements.
- Le taux de fractionnement net : approche plus précise identifiant les dispositifs de franchissement considérés efficaces. A défaut de connaissance sur leur efficacité réelle on distingue ici les aménagements équipés de dispositifs totalement conformes pour l'ensemble des besoins migratoires, sans exception. Dans ce cas, les obstacles correctement équipés pour la libre circulation des poissons migrateurs ne contribuent plus au taux de fractionnement. La donnée utilisée à cet effet correspond au champ « avis technique global » renseigné dans l'onglet « expertise » de la BDOe. Ainsi, **tout obstacle décrit avec un dispositif de franchissement et un « avis technique global positif » est retiré de calcul du taux de fractionnement net**. A cet égard, il est important de rappeler que le champ « avis technique global » est un avis portant sur la conformité des équipements à l'échelle de toutes les composantes à prendre en compte : (i) à l'échelle de l'aménagement ie l'ensemble des ouvrages liés par l'aménagement le cas échéant, (ii) toutes espèces cibles à prendre en compte, (iii) à la fois dans le sens de la dévalaison et de la montaison.
- Le taux de fractionnement médian : approche intermédiaire entre le fractionnement net et le fractionnement brut. Cette variante consiste à repérer les ouvrages équipés, en suivant la même méthode que pour le calcul du fractionnement net, à partir de la connaissance des dispositifs de franchissement et de la donnée BDOe « **avis technique global positif** », à l'échelle de l'aménagement et de toutes les composantes migratoires à prendre en compte (voir ci-dessus). Cependant, au lieu de retirer complètement ces obstacles dans l'évaluation de la pression des ouvrages en matière de continuité biologique, cette variante leur affecte un poids médian, en retenant **la moitié de leur hauteur de chute dans le calcul du taux de fractionnement**.

#### - Densité

Ce descripteur est le nombre d'obstacles recensés sur le son profil en long du cours d'eau, divisé par la longueur du linéaire pris en compte. Pour être plus explicite, l'expression de ce rapport est inversée : un ouvrage tous les x mètres de cours d'eau (ou tous les x kilomètres pour plus de lisibilité de l'expression).

Cet indice élémentaire est totalement insensible à l'importance de la pression. En termes de densité, un ouvrage franchissable à la même incidence qu'un obstacle infranchissable.

La densité d'ouvrage apporte une information complémentaire aux deux autres indices, en termes de répartition linéaire, notamment vis-à-vis de l'appréciation lissée fournie par le taux de fractionnement (précision sur la distribution de l'effet barrière).

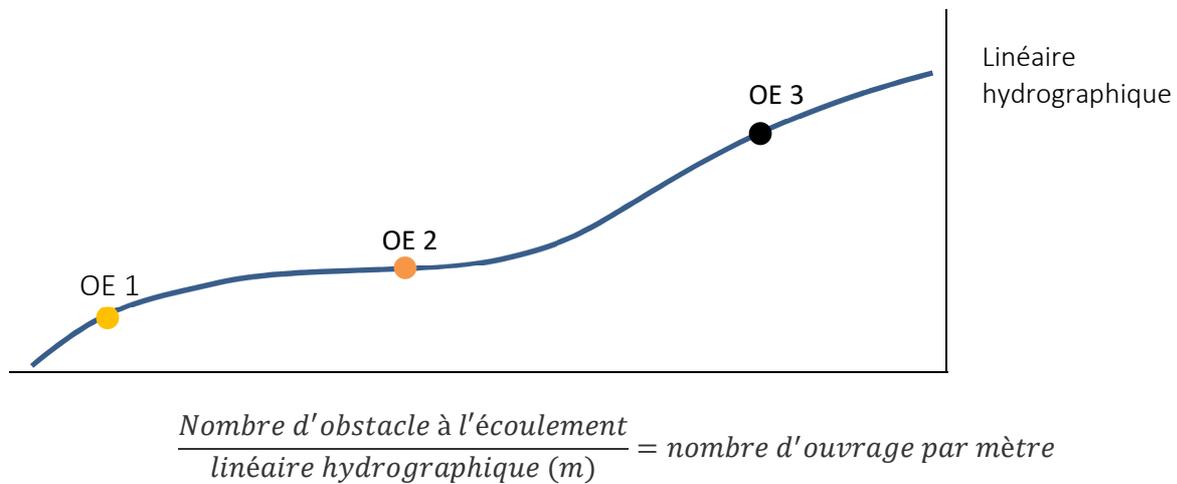


Figure 4 : Schématisation des données appelées pour le calcul de la densité et représentation de son calcul.

#### - Relations entre les trois indices

Les indices de fractionnement et de densité sont étroitement corrélés puisque le taux de fractionnement n'est autre que la densité des obstacles pondérée par leur hauteur de chute (ci-dessus).

Il est également important de souligner que les trois indices hydromorphologiques conçus pour évaluer la pression « ouvrages » (densité, fractionnement, étagement) sont étroitement liés aux mêmes données de base, rassemblées à large échelle. Il fait appel à une donnée « **ouvrage** » et une donnée « **cours d'eau** ». Le croisement de ces deux composantes et la sélection des données nécessaires au calcul des indices sont développés dans les parties qui suivent.

## 3.2 Partie « ouvrage »

### 3.2.1 Acquisition des données ouvrages

Peu importe l'échelle du découpage linéaire, le calcul des indices utilise la même donnée « ouvrages » (GéObs) et la même méthode de sélection des hauteurs de chute. Cette partie est donc commune à l'ensemble des versions du calcul des indices.

L'essentiel des données « ouvrages » utilisées pour la rédaction du présent rapport correspondent à une copie du contenu de l'application GéObs : « dump » datant du 30 septembre 2020. Ainsi, **en ce qui concerne le calcul des indices, la source d'information est unique pour l'ensemble du territoire**. Une mise à jour régulière est prévue chaque année. **La cartographie des résultats a déjà été actualisée sur la base d'un autre « dump » réalisé le 15 décembre 2020. Les résultats de cette mise à jour sont disponibles en marge du présent rapport dans l'espace central d'échange de l'OFB.**

A partir du « dump », l'ensemble des étapes décrites ci-dessous sont réalisées sur Postgres version 9.5 et Postgis version 2.5.0.

Une base de données dédiée au calcul des indices est ainsi placée sur Postgres. Le dump est chargé dans cette base. Il est divisé en 5 schémas : bdoe, geobs, ice, public, roe.

Quatre autres schémas sont ajoutés à la base de données (hauteur, dpme, syrah, rht). Le premier sert à enregistrer les tables qui permettent de calculer une hauteur de chute pour chaque ouvrage situé en France métropolitaine. Ce travail correspond à la première étape, commune à toutes les versions de calcul. Les trois autres schémas, servent à bancariser les tables des trois versions des calculs d'indices déterminés par les couches cours d'eau : (i) Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau, (ii) Réseau Hydrographique Théorique, (i) Drains Principaux de Masse d'Eau du bassin Loire-Bretagne.

Le détail des étapes de traitement des données, réalisées pour le calcul des indices à l'échelle nationale (couche du RHT) est présenté en annexe 4, suivi en annexe 5 du script SQL permettant de donner les résultats d'indices pour cette méthode.

### 3.2.2 Sélection des ouvrages

Le ROE est utilisé comme table de base pour réaliser la sélection initiale mais tous les ouvrages du ROE ne participent pas au calcul des taux. En effet, les obstacles doivent répondre à plusieurs critères pour intervenir dans l'évaluation de la pression exercée :

- **Statut**

Lorsqu'un ouvrage apparaît dans le référentiel et que les données ROE qui lui sont attribuées sont pertinentes, les services départementaux de l'OFB doivent le valider. En revanche, si l'ouvrage est inconnu par les agents de terrain de l'OFB ou jugé non pertinent, il reste « non validé ». Il existe également dans le ROE le statut d'obstacles « Gelés ». Il s'agit, en l'occurrence, d'anciens ouvrages qui se sont vu attribuer un code ROE mais qui ont ensuite été supprimés dans le référentiel par les services territoriaux. **Seuls les ouvrages validés sont conservés pour le calcul des indices.** Dans le ROE, ce sont les ouvrages ayant pour attribut « Validé par échantillonnage » ou « Validé point par point ». Les autres (« Gelé » et « Non validé ») sont supprimés.

- **Liaison**

Lorsqu'un cours d'eau se divise en plusieurs bras, il est fréquent que chacun d'eux soit aménagé par un obstacle. Ainsi, lorsque l'aménagement est constitué de différents ouvrages formant le même étage hydraulique (même retenue identifiée sur le profil en long du cours d'eau), le ROE prévoit de les lier et la BDOe clarifie cette information ouvrage par ouvrage (OE principal ou OE secondaire). Chaque obstacle a son propre code ROE, mais la liaison permet de bancariser leur fonctionnement interdépendant, comme c'est le cas par exemple d'une usine hydroélectrique et de son seuil de prise d'eau. En matière de continuité écologique, un individu ou un élément sédimentaire franchissant un des ouvrages reliés au sein du même étage hydraulique franchit dans le même temps l'ensemble des ouvrages du même aménagement (étage/retenue). Qu'il soit principal ou secondaire, les ouvrages liés induisent généralement une hauteur de chute comparable.

Afin d'éviter toute multiplication transversale des hauteurs de chutes au sein d'un même étage hydraulique, **les ouvrages secondaires sont supprimés pour ne retenir que le principal (identifié sur le cours principal)**. Lorsqu'un ouvrage ne fait pas l'objet de liaison (cas général le plus simple) il s'agit d'un obstacle unique, normalement référencé sur le cours principal, avec une dimension unique (Viennot et al. 2018).

- **Hauteur de chute**

Suite à un arasement, un dérasement ou le plus souvent, par érosion progressive ou régressive, les ouvrages peuvent avoir une **hauteur de chute égale ou équivalente à 0**. Dans ce cas, ils ne font plus obstacle à la continuité écologique. Dès lors, ces ouvrages sont **écartés du calcul des taux**. En revanche, lorsqu'un obstacle présente une hauteur de chute perceptible à l'étiage (**à partir de 10cm**), ou une donnée hauteur « nulle » (sans information), il est conservé à ce stade de la sélection.

- **Donnée type et état pour les ouvrages à hauteur « nulle » (sans information)**

Pour effectuer le calcul des taux, il est obligatoire de disposer d'une donnée hauteur par obstacle pris en compte. **Lorsqu'un ouvrage présente une donnée hauteur « nulle » (sans information), le script affecte la médiane des hauteurs de chute correspondant à son type, son état et son hydro-écorage.** Cette opération n'est possible que si l'ouvrage est correctement référencé, avec son type et son état. S'il n'a qu'une seule ou aucune de ces deux données obligatoires, aucune médiane ne pourra lui être affectée de manière fiable. Ces **ouvrages mal référencés** sont donc **écartés du calcul**.

- **Type**

La connaissance du type d'ouvrage est nécessaire pour le calcul des indices. Si cette donnée n'existe pas, il s'agit d'obstacles validés dans le ROE avant la règle des champs obligatoires (2014) et pas encore traité dans le cadre de la mise en qualité du référentiel. Ces ouvrages qui n'ont pas de type renseigné ont été éliminés faute de qualité suffisante en termes de référencement. Au final, **seuls les types d'ouvrages transversaux qui génèrent une chute artificielle ont été conservés pour le calcul des indices**. Les digues qui correspondent à des ouvrages longitudinaux, les épis en rivière et grilles de pisciculture qui ne provoquent pas de chute sont supprimés.

Les ouvrages de type « digue » nécessitent un traitement à part. En effet certains ouvrages sont renseignés sous ce type par erreur dans le ROE, alors que ce sont des barrages (dignes d'étang notamment). Il est possible de les distinguer des véritables digues dans la mesure où ils ont une hauteur de chute renseignée. Ainsi, **les digues caractérisées par une hauteur de chute ne sont pas éliminées**, mais bien conservées pour le calcul des pressions.

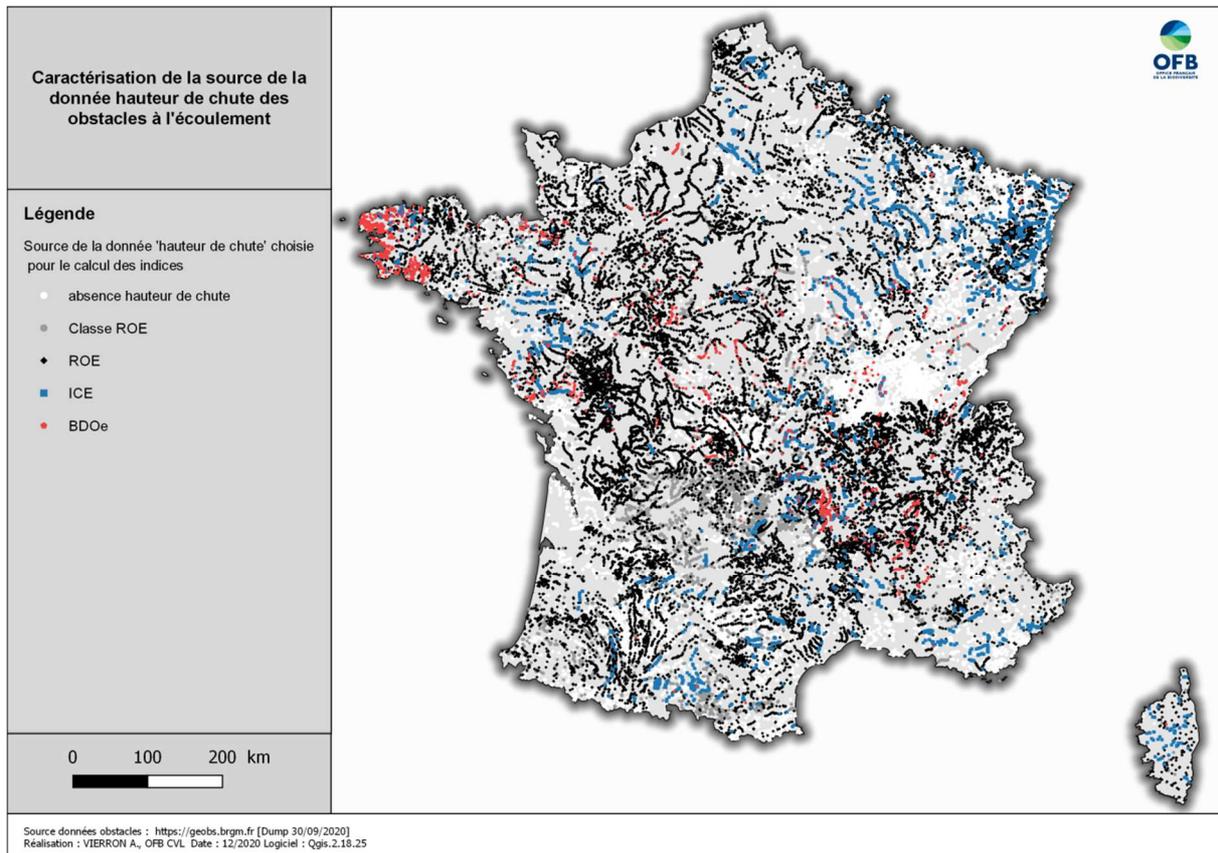
- **Etat**

« Un obstacle à l'écoulement est soumis à un cycle de vie caractérisé par différentes phases d'activité, lequel dépend d'une multitude de facteurs (âge, événements survenus aux alentours ou bien sur l'ouvrage tels que des opérations d'entretien, des incidents...)» (Sandre 2012). Pour le calcul des indices, il convient de retenir tous les obstacles qui entravent réellement la continuité écologique, donc ceux qui sont physiquement présents. Il s'agit des états « Détruit partiellement » et « Existant ». **Les ouvrages « Détruits entièrement » et « En construction » ne sont pas pris en compte** pour le calcul de la pression « ouvrages ».

En annexe 1, un arbre de décision résume l'ensemble des règles de sélection des ouvrages participants au calcul des indices.

### 3.2.3 Sélection de la hauteur de chute

Le calcul des indices nécessite une information hauteur de chute pour chaque ouvrage. Cette étape consiste à leur attribuer la valeur la mieux adaptée à l'évaluation et au suivi de la pression « ouvrages ». Quatre sources de données peuvent apporter de l'information sur la hauteur de chute : BDOe, ICE, ROE, classe ROE. Le calcul d'un taux nécessitant une donnée chiffrée, les classes de hauteur ROE sont remplacées par le **centre de classe** correspondante. Lorsqu'un ouvrage dispose de plusieurs données de hauteurs de chute, la **source d'information** retenue est la **plus fiable**, à la fois **en termes de mise à jour et de précision par rapport aux conditions d'étiage** à considérer. La cartographie 2 ci-dessous présente la source de hauteur de chute retenue pour le calcul des indices.



Cartographie 2 : Source de la donnée hauteur de chute retenue pour le calcul des indices

Parmi les 113 633 obstacles à l'écoulement bancarisés dans le ROE, 77 827 ouvrages répondent à l'ensemble des critères de sélection présentés ci-dessus (ce qui représente 68 % du total)<sup>6</sup>. Ces ouvrages sélectionnés peuvent être divisés en deux catégories : (i) ceux dont au moins une hauteur renseignée, (ii) ceux qui n'ont aucune information en termes de hauteur de chute (figure 5).

La majorité (76 %) des hauteurs de chute proviennent de la source ROE. Les 24% restants se distribuent entre les sources : classe ROE (13%) ICE (7%) et BDOe (4%). Les 137 hauteurs de chutes correspondant à la classe ROE « supérieure ou égale à 10m » ont été séparé des autres pour faire l'objet d'un traitement différent.

<sup>6</sup> Bien que l'ouvrage réponde aux critères de sélection présentés plus tôt, il ne participera pas forcément au calcul des indices. En effet, pour qu'un obstacle soit pris en compte, il faut qu'il se situe dans un rayon de 75m autour d'un tronçon de la couche cours d'eau utilisée. Voir partie 3.4 : Calcul des indices.

En effet, l'amplitude de cette classe est trop importante et dépourvue de limite supérieure. La solution retenue consiste à **attribuer à ces ouvrages de plus de 10 mètres la médiane des hauteurs de chute des ouvrages de même type, même état et même bassin versant**. Lorsque cette médiane correspond à moins de 15 hauteurs chiffrée, l'échantillonnage hydrographique est élargi à la France métropolitaine (ce point est détaillé dans l'annexe 3).

NB : Ces ouvrages de plus de 10 mètres, décrit sans plus de précision, correspondent généralement à des grands barrages. Ils doivent faire l'objet d'un effort prioritaire de mise en qualité des données (précision de la hauteur de chute à renseigner dans BDOe).

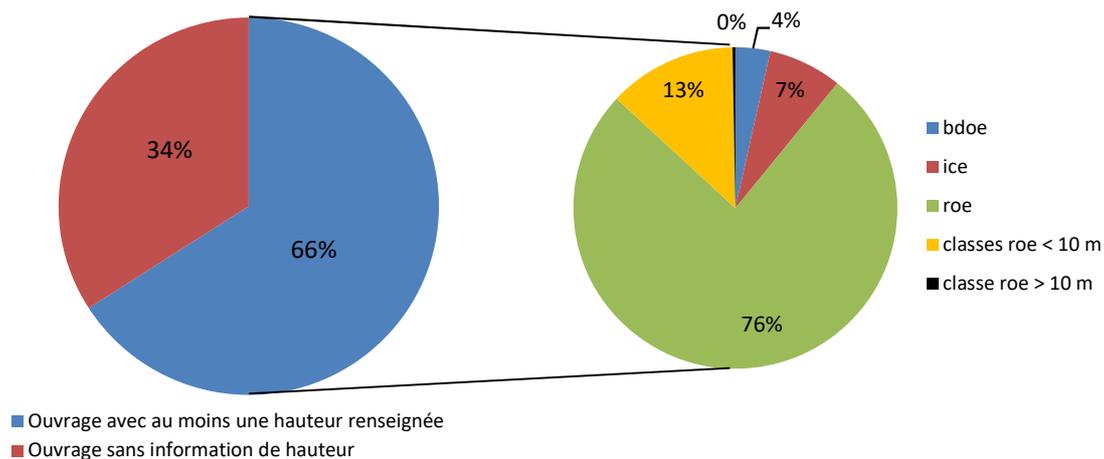


Figure 5 : Répartition des obstacles par source de données hauteur de chute

**Malgré la compilation des différentes sources de données, certains ouvrages n'ont toujours pas de hauteur de chute renseignée (34 % des ouvrages sans hauteur BDOe, ICE ou ROE). Pour ces ouvrages sans dimension, la solution retenue consiste à leur attribuer la médiane des hauteurs de chute par type, par état et par hydro-écorégion de rang 1.**

Considérant qu'une donnée ainsi modélisée n'est fiable que lorsqu'un minimum de trente valeurs participe à son calcul, le périmètre nécessaire à la fiabilité de cette valeur médiane peut être **élargi au bassin hydrographique, puis à la France métropolitaine**.

L'annexe 7 présente la répartition des hauteurs de chute modélisées (médianes) à l'échelle de la France entière. La proportion de ces hauteurs modélisées (par rapport aux hauteurs bancarisées) est également présentée suivant les départements.

Les données excessives ou aberrantes sont traitées suivant le même schéma de modélisation pour ne pas dégrader la qualité des résultats.

Ainsi, lorsqu'un ouvrage est renseigné avec une hauteur de chute supérieure à 160m (aucun cas connu en France métropolitaine, supérieur à la hauteur de chute du barrage de Tignes), la hauteur de chute est remplacée par une valeur modélisée (médiane). De la même manière, les hauteurs de chutes supérieures à 30 m pour les types 'seuil en rivière', 'obstacle induit par un pont' ou 'null' sont jugées erronées et remplacées par une valeur modélisée. Cette étape évite d'injecter des erreurs importantes dans le calcul des indices, en attendant leur correction « à la source » par les services territoriaux de l'OFB.

23 hauteurs de chute excessives ou aberrantes ont ainsi été repérées et transformées en attendant leur mise en qualité dans GÉObs. Cette liste d'ouvrages figure en annexe 8. Elle correspond à un besoin prioritaire de vérification et correction de la donnée via GÉObs.

Il s'agit le plus souvent d'erreurs de saisie en centimètre à la place de valeur à saisir en mètre. Pour les valeurs modélisées, le choix de la médiane plutôt que la moyenne des valeurs du même périmètre permet aussi de limiter le poids de ces erreurs de saisie.

Au final, la sélection des hauteurs de chute retenues pour le calcul des indices privilégie la donnée qui présente les meilleures garanties de qualité en termes de mise à jour, de conditions hydrologiques vivant l'étiage et de précision. La hiérarchisation vers la source la plus adaptée au suivi des taux s'effectue comme suit (figure 6) :

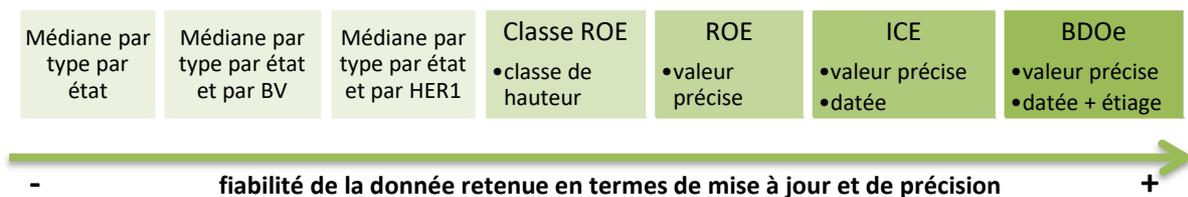
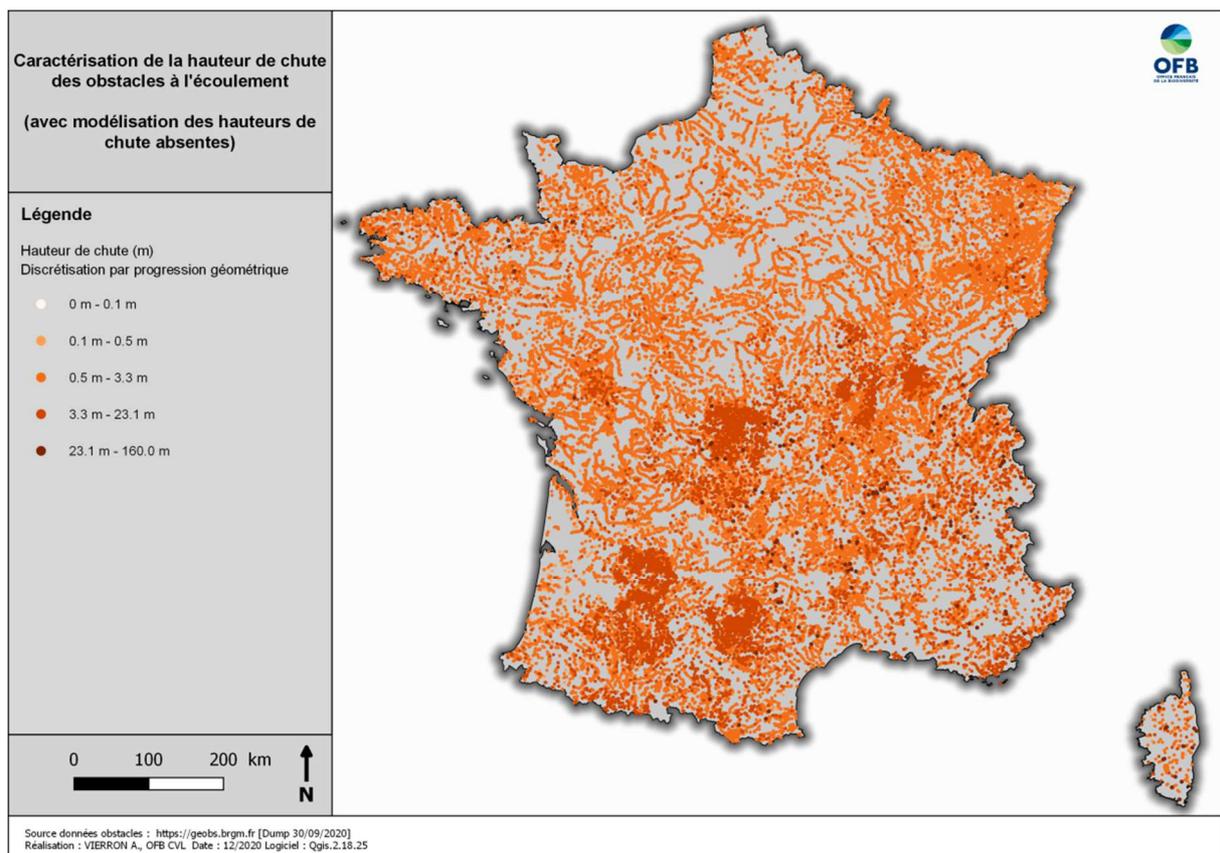


Figure 6 : Les différentes sources de données « hauteur » de la moins précise et fiable à la plus précise.



Cartographie 3 : Caractérisation de la hauteur de chute des obstacles à l'écoulement

A l'issue de ce travail, tous les ouvrages répondant aux critères cités ci-dessus dispose d'une information « hauteur de chute » et participent au calcul des indices sur les différentes couches cours d'eau. La cartographie 3 ci-dessus présente ainsi la hauteur de chute retenue pour les 77 827 ouvrages sélectionnés à l'échelle de la France entière.

### 3.2.4 Valeurs médianes des hauteurs de chute

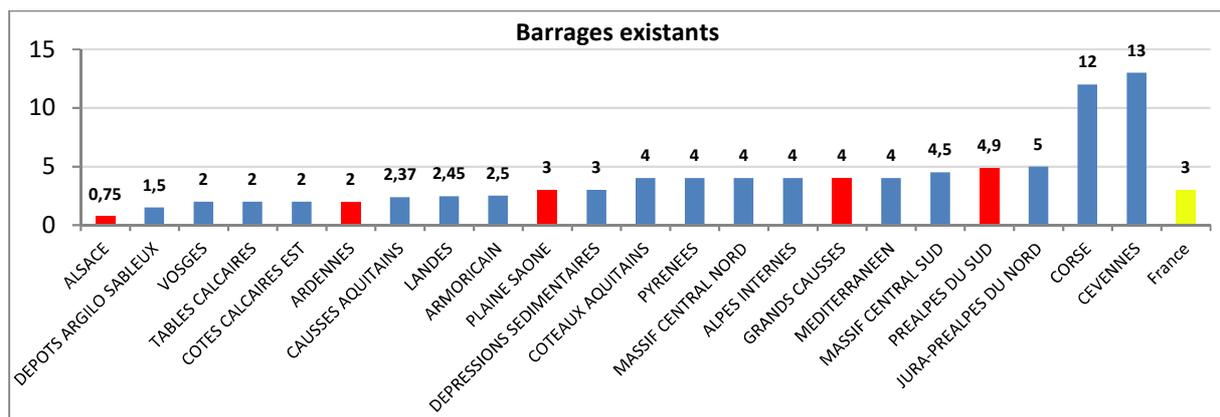
Comme évoqué précédemment (§ 3.2.3), les médianes sont réalisées en croisant le type d'ouvrage (barrage, seuil ou obstacle induit par un pont), son état (détruit partiellement ou existant) et sa zone géographique. Pour la zone géographique, les médianes sont calculées dans un premier temps avec les hydro-écorégions<sup>7</sup>, qui sont les zones géographiques les plus restreintes.

Si une médiane est calculée avec moins de 30 hauteurs de chute (limite de fiabilité de l'échantillon), alors la combinaison type/état s'appuie sur une zone d'échantillonnage plus large : le bassin hydrographique, sinon la métropole.

Les principaux résultats du calcul des valeurs médianes attribuées aux ouvrages sans données de hauteur de chute sont les suivants (modélisation / type-état-région) :

- **Les barrages existants** sont 12 525 dont 4200 disposent d'une donnée de hauteur de chute. Les valeurs médianes qui leur sont attribuées sont très variables : elles varient de 1,5 m pour les hydro-écorégions de bas-relief à 13m pour les hydro-écorégions de montagne. **Pour l'ensemble du territoire métropolitain, la médiane est de 3 m.**

Cette dimension est probablement sous-estimée dans la mesure où bon nombre de seuils restent qualifiés par erreur de barrages par dans le ROE (besoin de mise en qualité du référentiel).

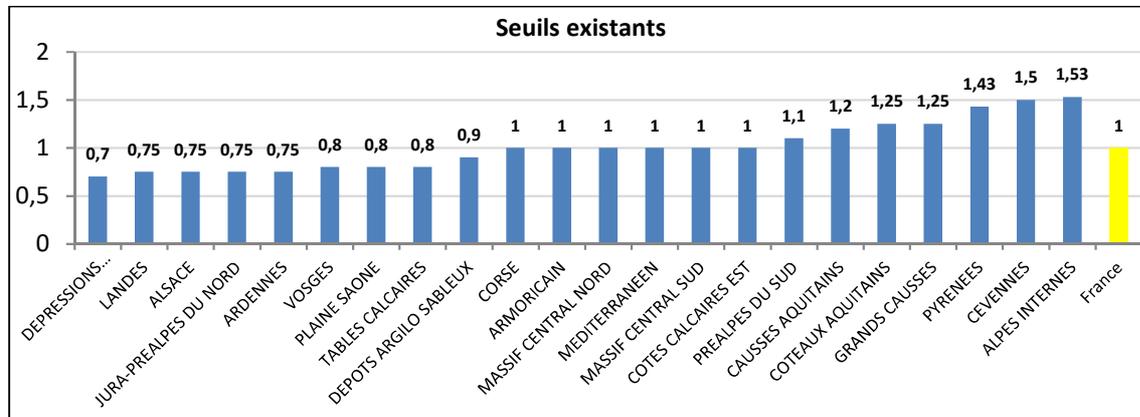


Graphique 1 : Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les barrages existants. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

- **Les barrages détruits partiellement** sont 129 dans l'échantillon exploitable, dont 70 disposent d'une hauteur de chute. Leur dispersion sur le territoire ne permet pas de calculer de hauteur de chute fiable par HER ou par bassins versants. Lorsqu'ils ne disposent pas de hauteurs de chute, la médiane nationale est donc attribuée à chacun des ouvrages de ce type et dans cet état, soit 1,18m.

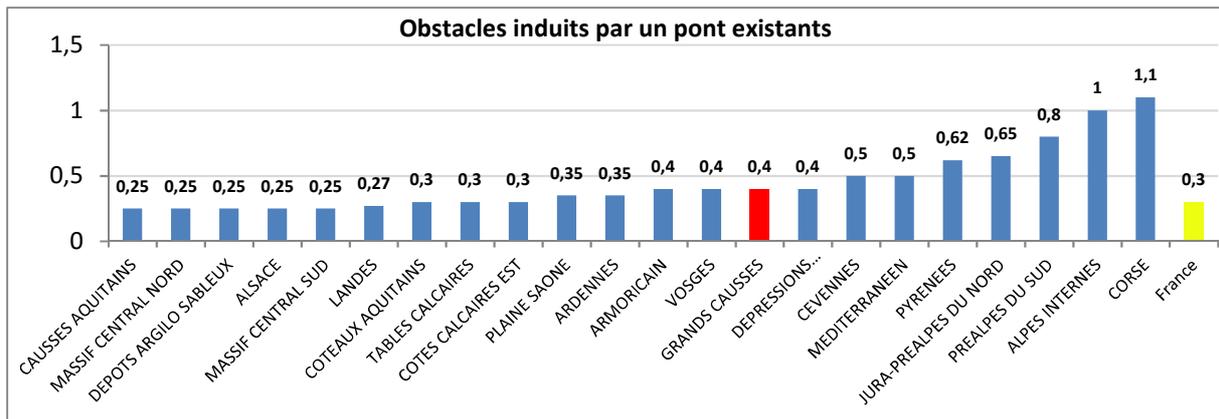
<sup>7</sup> La France métropolitaine est découpée en 22 hydro-écorégions (HER) à l'échelle du 1/1.000.000ième. Leurs délimitations sont basées sur des critères combinant la géologie, le relief et le climat permettant d'identifier des entités géographiques dans lesquelles les écosystèmes d'eau courante devraient présenter des caractéristiques communes (Wasson et al. 2004). Cette donnée a été produite par l'institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea, ex Cemagref) Lyon, dans le cadre de l'appui à la mise en place de la DCE (Wasson et al. 2001).

- Les seuils existants** sont les ouvrages les plus nombreux en France métropolitaine (44 448) dont 32 653 disposent d'une donnée hauteur de chute. Pour ce type d'ouvrage, toutes les médianes attribuées ont pu être calculées à l'échelle de l'hydro-écorégion. Les valeurs modélisées varient entre 0,7m et 1,5m suivant l'importance du relief régional. **La médiane nationale est égale à 1m.**



Graphique 2 : Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les seuils existants. En bleu, les médianes « fiables », et en jaune la médiane nationale.

- Les seuils détruits partiellement** ont une donnée hauteur renseignée dans 78% des cas, avec 3 067 données hauteur pour 3 937 ouvrages. C'est le meilleur taux de complétude exploitable pour la modélisation. Il faudrait cependant vérifier que toutes ces valeurs ont bien été mises à jour, en termes de chutes résiduelles, après l'abaissement de ces obstacles (détériorés ou arasés) et qu'il ne s'agit pas de hauteurs antérieures aux abaissements. Les médianes qui sont attribuées à cette catégorie d'ouvrages se distribuent entre 0,25m et 1m de chute suivant leur contexte régional. La médiane nationale des seuils détruits partiellement est égale à 0,4m.
- Les obstacles « induits par un pont » existants** sont 14 700 pour 9229 hauteurs de chute renseignées (63%). Leur grand nombre permet de calculer une médiane à l'échelle des toutes les hydro-écorégion, à l'exception de « grands causses ». Elles se distribuent dans une gamme inférieure à celle des seuils existants, entre 0,25 m et 1,1 m avec une **médiane nationale de 0,3m.**



Graphique 3 : Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les obstacles induits par un pont existants. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

- **Les obstacles « induits par un pont » détruits partiellement** sont 170 dont 124 disposent d'une hauteur de chute renseignée. Leur répartition nationale permet d'attribuer à certains d'entre eux des médianes calculées à l'échelle de l'hydro-écorégion ou du bassin versant. Cependant, la majorité de ces obstacles est pris en compte en leur affectant la valeur médiane nationale soit 0,25m.

L'annexe 2 présente l'ensemble des médianes calculées et les compare aux médianes nationales.

### 3.3 Partie « cours d'eau »

**Les résultats des indices de pression sont fortement conditionnés par le tracé et le découpage de la couche cours d'eau utilisée pour le calcul des taux.** Dans ce document, trois couches cours d'eau (drains principaux de masse d'eau LB, Syrah et RHT) ont été testées puis comparées afin de déterminer la couche la plus adaptée au calcul.

Afin de faciliter la lecture des chapitres qui suivent, les parties de cours d'eau découpées pour le calcul des indices sont nommées en fonction de leurs sources :

- « **Drains** » pour la couche des drains principaux de masse d'eau (LB) ;
- « **Tronçons** » pour la couche Syrah ;
- « **Segments** » pour la couche RHT.

#### 3.3.1 Drains principaux de masse d'eau

Cette couche « cours d'eau » est une version non définitive de l'assemblage des drains principaux de masse d'eau. Elle est fournie par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne pour le calcul des indices dans le cadre de l'état des lieux de ce bassin. La version utilisée date du 05 mars 2019. **Ce découpage répond précisément au besoin du calcul puisqu'il permet d'appliquer directement la métrique de la pression (hauteur de chute) sur l'unité hydrographique d'évaluation de la DCE, à savoir la masse d'eau.**

Toutefois ce support est sélectif par rapport au chevelu hydrographique. Les linéaires des drains principaux de masse d'eau ne comprennent pas les très petits cours d'eau (voir figure 7 ci-dessous).

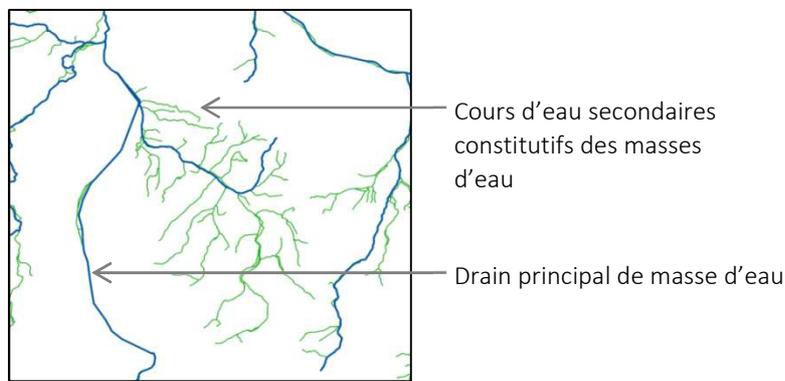


Figure 7: Différenciation des drains principaux de masses d'eau des cours d'eau secondaires.

Le réseau hydrographique de cette couche couvre 36 004 km de cours d'eau en Loire-Bretagne. Aucun traitement n'est réalisé sur cette couche de façon à respecter son statut de référence pour l'évaluation, de gestion et d'aménagement des eaux. La longueur moyenne des drains principaux des masses d'eau de ce bassin est bien adaptée au calcul des pressions cumulatives engendrées par les ouvrages. Cette échelle imposée par le SDAGE en Loire-Bretagne, correspond à des linéaires de **19 km en moyenne** (minimum : 0,3 km, maximum : 143 km).

Cette couche présente néanmoins trois inconvénients (figure 8) :

- pas d'information sur les rangs de Strahler dans les tables attributaires,
- pas de continus (linéaires absents sous les masses d'eau plan d'eau),
- quelques discontinuités.

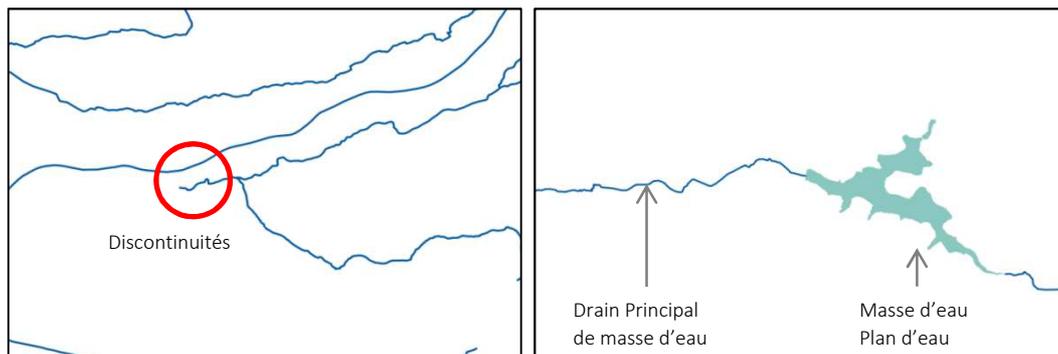


Figure 8 : Les différentes contraintes de la couche « body-main » fournie par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Faute d'attribut « rang de Strahler », pour le calcul du taux d'étagement il n'a pas été possible de supprimer les rangs 1 à l'extrémité amont des drains, comme le recommande la fiche de lecture du SDAGE (Secrétariat technique de bassin Loire Bretagne 2017).

La table a été jointe avec celle des masses d'eau cours d'eau pour récupérer leurs noms (code du drain principal égal à celui de la masse d'eau). Pour effectuer cette jointure, la référence utilisée est la couche « masse d'eau cours d'eau métropole » dans sa version correspondant au rapportage 2016, téléchargée sur [data.gouv.fr](http://data.gouv.fr).

### 3.3.2 Syrah

A l'échelle nationale, le calcul des indices de pression a été calculé sur la base des tronçons SYRAH-CE (Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau) dans un premier temps. En effet, le projet Syrah a été spécialement développé par l'Irstea pour analyser les pressions qui impactent potentiellement l'hydromorphologie des cours d'eau. Pour étudier ces pressions, l'Irstea a créé son propre référentiel de « tronçons géomorphologique homogène » sur lesquels de nombreux paramètres de fonctionnement hydromorphologique ont été indirectement modélisés (Valette et al. 2012; Valette and Cunillera 2018).

Le choix de la couche « cours d'eau » s'est donc logiquement appuyé sur SYRAH-CE pour étendre le calcul des trois indices hydromorphologiques de pression « ouvrages » à l'ensemble du territoire national.

Cependant les tronçons SYRAH-CE sont souvent trop court pour pouvoir apprécier globalement la pression des ouvrages. Avec une moyenne de 2,21 km, la longueur d'un tronçon SYRAH est généralement inférieure à la distance moyenne qui existe entre deux ouvrages (4,1 km). Par conséquent, la taille de ces tronçons ne permet pas d'apprécier les effets cumulés en termes de densité d'obstacles, d'étagement ou de fractionnement. Il a donc été choisi d'agréger les tronçons par rangs de Strahler homogène (méthode d'agrégation des tronçons présentée figure 9). Cette couche retravaillée présente des tronçons d'une longueur moyenne de 5,17 km. Cette dimension est encore limitée pour pouvoir apprécier correctement l'effet cumulé des ouvrages sur de nombreuses parties de cours d'eau.

L'agrégation n'a pas été réalisée en 2019 dans le cadre de ce projet, mais récupérée dans les archives du projet de 2015<sup>8</sup>.

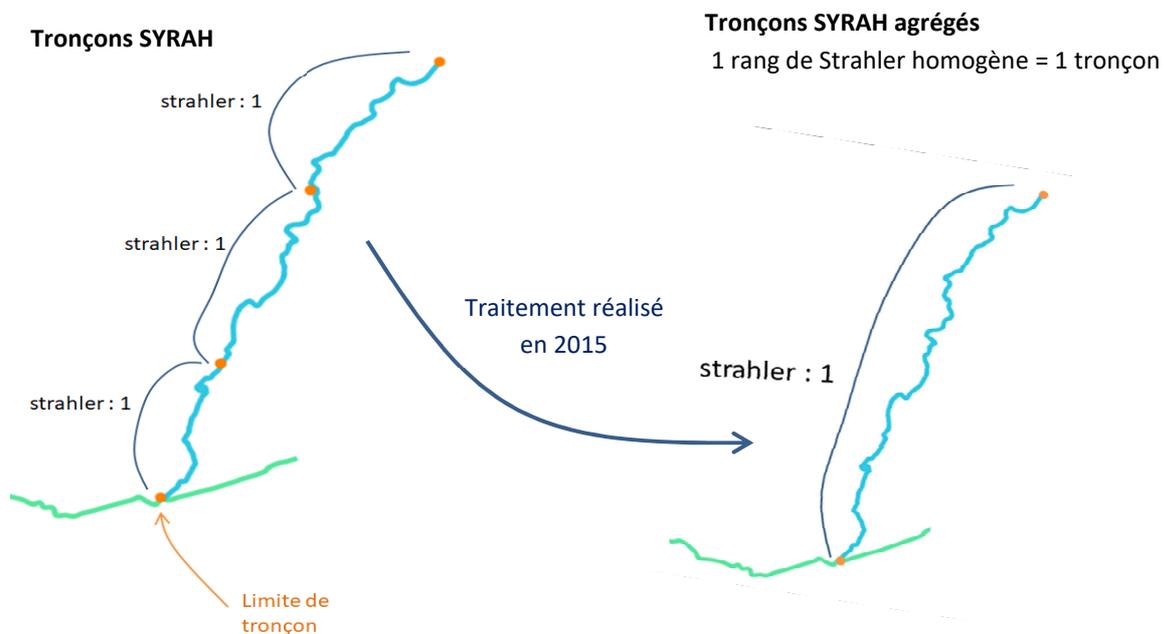


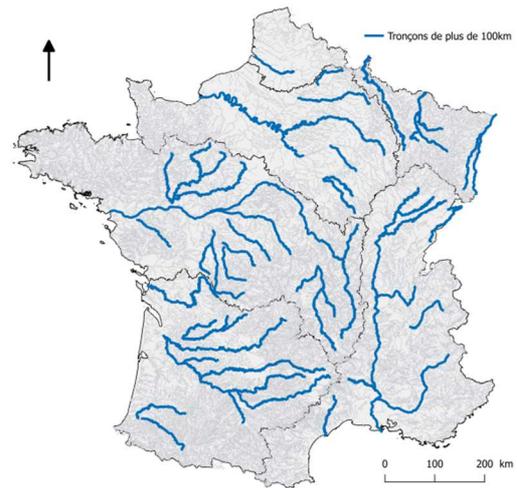
Figure 9 : Méthode d'agrégation des tronçons SYRAH-CE par rangs de Strahler homogène.

<sup>8</sup> Cette couche cours d'eau des tronçons Syrah agrégé par rang de Strahler est issue d'un téléchargement de la couche Syrah sur le site du Cemagref (ex-Irstea) et a été agrégé grâce à une requête SQL en 2015 (Berthier and Steinbach 2016a). Mais elle ne dispose pas de métadonnées permettant de la documenter d'avantage.

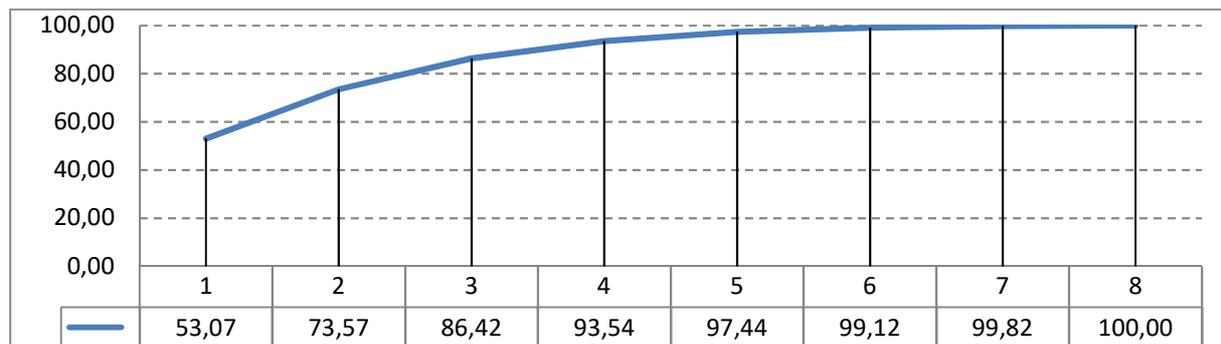
Après traitement, beaucoup de linéaires restent court. A l'inverse, certains linéaires de calcul deviennent extrêmement longs.

(Cartographie 4 : Les tronçons SYRAH-CE agrégés par rangs de Strahler homogène mesurant plus de 100km.)

Contrairement à la couche des drains principaux de masse d'eau utilisée pour le calcul des taux à l'échelle Loire-Bretagne, les tronçons Syrah disposent de l'attribut « rang de Strahler ». Il a donc été possible de supprimer les rangs 1 pour calculer le taux d'étagement.



En France, les tronçons Syrah parcourent 225 203 kilomètres répartis en 8 rangs de Strahler. Suivant la conception de la classification de Strahler, plus le rang est élevé, moins il est représenté, et inversement. Ainsi, 53% du linéaire Syrah est classé en rang de Strahler 1. Donc, par précaution, la moitié du linéaire Syrah ne pourra être caractérisé en termes d'étagement, eu égard aux limites de complétude du ROE (voir 3.1.2).



Graphique 4 : fréquences cumulées croissantes des longueurs de tronçons Syrah par rang de Strahler en France.  
Source de la donnée : Syrah.

Par ailleurs les attributs « rang de Strahler » de la couche cours d'eau Syrah manquent parfois de fiabilité en matière de chaînage.

### 3.3.3 RHT

Le Réseau Hydrographique Théorique (RHT) est une couche « cours d'eau » créée au niveau national à partir du réseau hydrographique de la BD ALTI® 50m de l'IGN<sup>9</sup> (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture; Pella et al. 2012). Cette couche est celle qui apparaît la mieux « chaînée » : tous ses éléments sont jointifs dans l'axe de l'écoulement, sans discontinuité.

Chaque confluence marque l'arrêt et le commencement d'un nouveau segment de cours d'eau. Ce découpage hydrographique forme des segments trop courts pour le calcul des indices de pression générés par les obstacles à l'écoulement (2,48 km en moyenne). C'est pourquoi, comme pour la couche

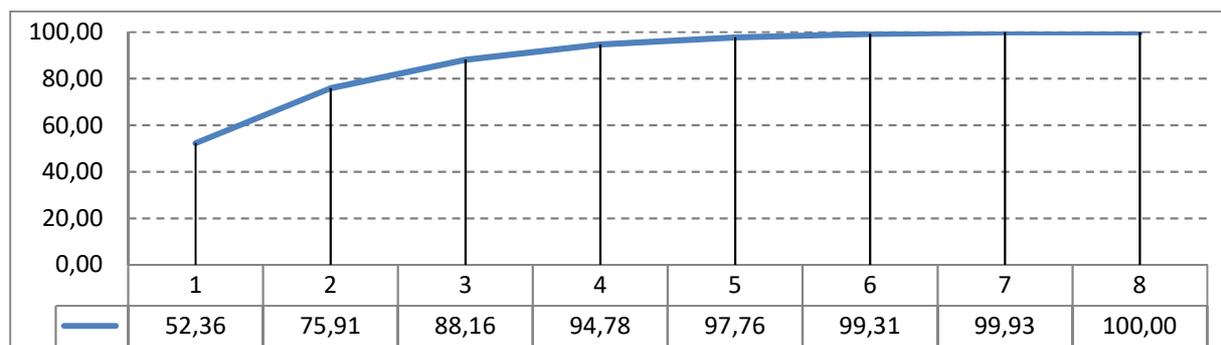
<sup>9</sup> La BD ALTI est disponible sous la forme d'un MNT à différentes résolutions (ou « pas »). Le MNT permet une modélisation du relief sous la forme d'une grille composée de mailles carrées qui contient une information altitudinale. Plus le pas du MNT est grand et plus les formes du terrain sont généralisées, les sommets érodés et les microreliefs estompés (IGN 2017).

Syras, les segments de cours d'eau ont été agrégés par rang de Strahler homogène. **En moyenne, ils atteignent ainsi 3,8 km** (minimum : 0,024 km, maximum : 521 km). Cette dimension reste faible. En revanche, **si l'on ne tient pas compte des rangs de Strahler 1 la moyenne des segments agrégés passe à 8,2 km, ce qui est plus satisfaisant.**

L'agrégation par rang de Strahler homogène a été réalisée de manière à conserver l'ensemble des informations des segment RHT. Cette traçabilité permet de caractériser chaque linéaire avec des valeurs attributaires hérités des segments qui le composent, selon une modalité de calcul adaptée, par exemple une pondération suivant la longueur des segments élémentaires.

Le réseau RHT couvre 284 260 km de cours d'eau répartis en 8 rangs de Strahler. Ce déploiement hydrographique compte environ 60 000 km de plus que SYRAH et sa proportion de rang 1 est légèrement plus faible.

NB : qu'il s'agisse de SYRAH ou du RHT, plus de 50% du linéaire des couches cours d'eau disponible au niveau national n'est pas pris en compte pour le calcul du taux d'étagement (chevelu hydrographique).



Graphique 5 : Fréquences cumulées croissantes des longueurs de segments RHT par rang de Strahler en. Source de la donnée : RHT.

Dans certains bassins le chaînage et les rangs de Strahler du RHT apparaît plus fiable que ceux du réseau SYRAH (par exemple sur la Loire jusqu'au rang 8). Inversement, on note certaines erreurs d'affectation de rang de Strahler dans le RHT, comme au niveau de la confluence du Rhône et de la Saône.

### 3.3.4 Calcul des longueurs et des dénivelée pour les couches cours d'eau

Chaque indice fait appel à une donnée pour chaque « tronçon de cours d'eau » : (i) dénivelée pour le taux d'étagement (ii) longueur pour le taux de fractionnement et la densité.

#### - Calcul des longueurs

La longueur est obtenue grâce à un calcul de propriété géométrique. Le calcul est réalisé pour toutes les couches cours d'eau sous la projection Lambert II étendu, de telle sorte que les propriétés spatiales et les distorsions soient identiques.

#### - Calcul des dénivelés

Le dénivelé est obtenu par la différence entre les altitudes des points amont et aval de chaque tronçon de cours d'eau. Les valeurs sont extraites du **Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la BD ALTI® 25m de l'IGN®**. N'étant pas contraint par les capacités de stockage des données MNT, c'est le plus petit pas qui est sélectionné (25m) afin d'exploiter la meilleure précision altimétrique actuellement disponible (IGN 2017).

Par rapport à la précision des données hauteurs de chute, **la limite de précision de ce dénivelé naturel constitue la principale source d'incertitude du taux d'étagement.**

Eu égard à cette difficulté, il est nécessaire de calculer les taux d'étagement sur des dénivelés relativement importants pour limiter le poids de cette incertitude dans le résultat du taux d'étagement. C'est pourquoi il convient d'être attentif à l'échelle des parties de cours d'eau sur lesquelles est appliqué ce calcul.

### 3.4 Calcul des indices

Après sélection des **ouvrages et hauteurs de chute** et préparation des attributs des **tronçons de cours d'eau**, il est nécessaire de joindre les deux informations pour réaliser le calcul des indices.

A cet effet, un code tronçon de cours d'eau est attribué aux ouvrages situés dans un rayon de 75m autour des tronçons. Les résultats de cette étape sont bancarisés dans une table « ouvrages snappés » qui comporte les codes obstacles et les codes tronçons auquel ils sont rattachés. Illustration :

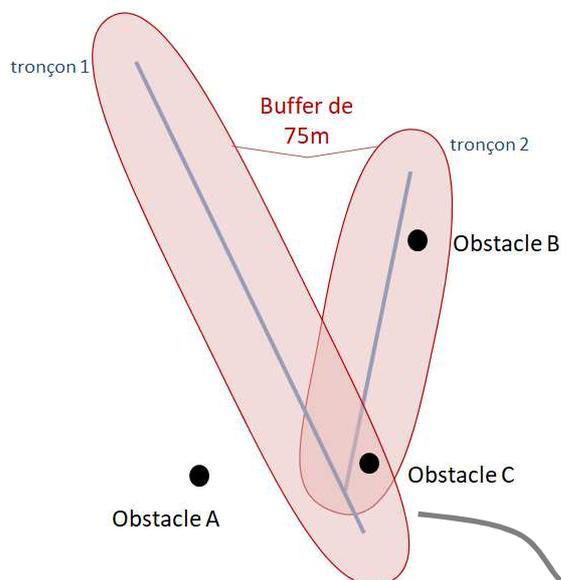


schéma ci-contre, l'obstacle « A » est écarté et ne figurera pas dans la table des obstacles snappés. Pour l'obstacle « B », situé à moins de 75m d'un seul tronçon, le code tronçon « 2 » est renseigné parmi les attributs de l'ouvrage (voir tableau ci-dessous). Lorsqu'un ouvrage se situe à moins de 75m de plusieurs tronçons (dans plusieurs zones tampons), comme c'est le cas de l'obstacle « C », c'est le code du tronçon le plus proche qui lui est attribué. Dans cet exemple, l'obstacle « C » est donc rattaché au tronçon « 2 ».

Code obstacle	Code tronçon
B	2
C	2

Figure 10 : Exemple des différentes situations rencontrées lors de l'attribution d'un code tronçon à un obstacle

Tableau 1 : table attributaire fictive des ouvrages de la figure 10 après snapping des codes tronçons

Un tronçon qui n'intercepte pas d'ouvrage, ne figure pas dans la colonne des tronçons associés aux obstacles. Ce tronçon est alors éliminé de la couche cours d'eau sur laquelle les indices sont calculés. Aucun indice ne pourra lui être attribué faute d'ouvrage intercepté. En effet, pour éviter les erreurs d'évaluation de type « faux zéro », nous considérons que, dans le contexte actuel d'aménagement des

bassins versants, il n'existe aucun linéaire de rang 1 à 4 sans obstacle. Si aucun ouvrage n'est intercepté par le « buffer », nous retenons l'hypothèse la plus probable selon laquelle ce vide correspond à un défaut de recensement, sachant que le ROE est très incomplet sur le chevelu hydrographique du réseau (absence de complétude pour ce qui concerne les passages busés et petites retenues d'eau qui impactent la plupart des têtes de bassin versant).

En revanche lorsqu'un linéaire de rang supérieur à 4 n'intercepte pas d'ouvrage, il est ajouté aux tables pour le calcul des résultats, avec une valeur d'indice égale à 0. En effet, sur les cours d'eau importants, nous considérons que la complétude de l'inventaire des obstacles est fiable.

A l'issue de ce procédé de rattachement, chacun des indices nécessite un traitement spécifique pour finaliser les calculs :

- **Taux d'étagement**

Comme énoncé ci-avant dans la présentation des indices, lorsque l'information rang de Strahler est disponible dans la couche cours d'eau, les rangs 1 sont supprimés. Pour le calcul de l'étagement, les ouvrages situés aux extrémités amont du réseau ne sont pas pris en compte dans la sélection.

- **Taux de fractionnement**

Selon la méthode utilisée pour le calcul du taux de fractionnement (brut, net ou médian) un traitement spécifique est appliqué aux dispositifs de franchissement globalement conformes (satisfaisant dans les deux sens de migration pour l'ensemble des espèces cibles à prendre en compte). Pour ce calcul, les ouvrages équipés et renseignés avec l'appréciation « avis technique global positif » sont soit maintenus (fractionnement brut et médian), soit retirés du calcul (fractionnement net). Pour le calcul du fractionnement médian, on retient sur ces ouvrages la moitié de la hauteur de chute pour obtenir un résultat intermédiaire aux deux autres variantes (§ 3.1.2).

- **Densité**

Pour cet indice, aucun traitement n'est à réaliser, les rangs de Strahler 1 sont conservés, de même que l'ensemble de la sélection d'ouvrage.

➔ **En résumé :**

Indice	Prise en compte des rangs de Strahler 1 (si la donnée est disponible)	Prise en compte des ouvrages équipés à avis technique global positif
Taux d'étagement	Non	Oui
Taux de fractionnement net	Oui	Non
Taux de fractionnement brut et médian	Oui	Oui
Densité	Oui	Oui

Tableau 2 : Les différences de sélection d'ouvrages et de couche cours d'eau entre indice

A la suite de ce travail de sélection des ouvrages, la somme des hauteurs de chute par tronçon est divisée par son dénivelé pour le taux d'étagement, ou par sa longueur pour le taux de fractionnement. De même, le nombre d'ouvrage par tronçon est divisé par sa longueur pour obtenir la densité.

### 3.5 Résultats des indicateurs

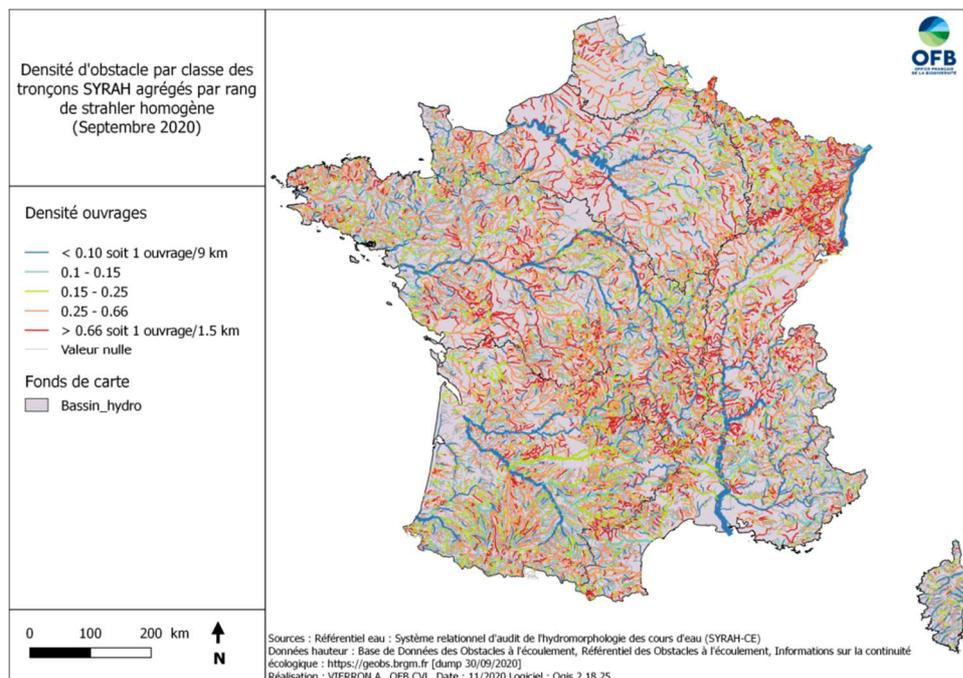
En appliquant la méthodologie présentée ci-dessus, les linéaires retenus pour le calcul des indices (drains principaux de masse d'eau ou assemblage de tronçons) obtiennent la plupart du temps un résultat par indice. L'absence de résultat s'explique par une des deux raisons suivantes :

- si la donnée relative au linéaire est nulle (longueur ou dénivelée), la division par zéro étant impossible, aucun résultat n'est obtenu ;
- si la hauteur de chute cumulée est nulle sur un linéaire de rang 1 à 4, aucun résultat n'est calculé pour éviter les « faux zéro » (§ 3.4).

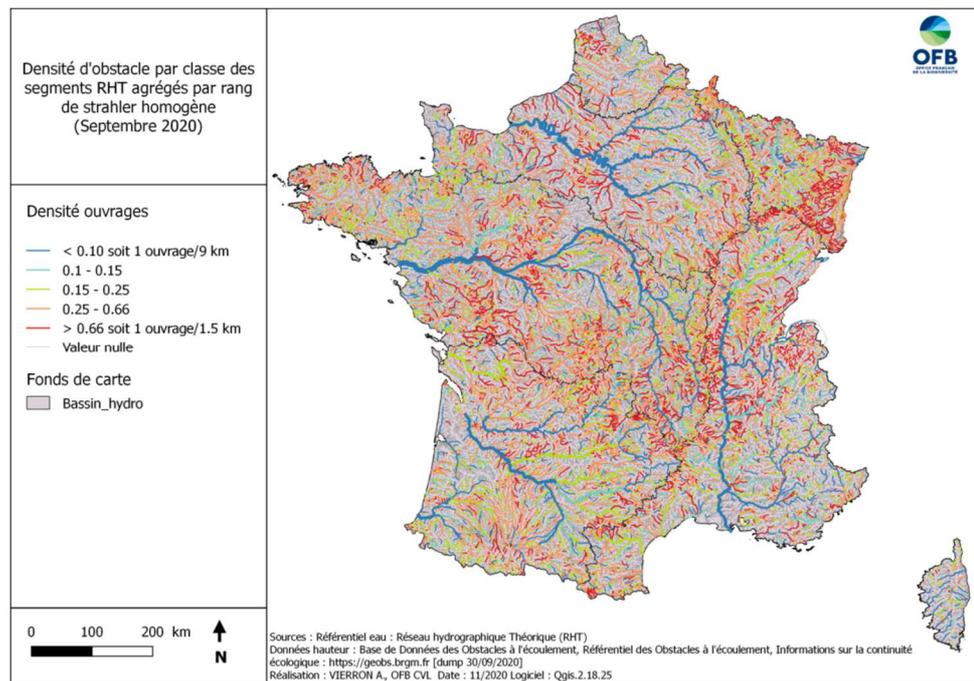
Les résultats sont présentés par indice dans les paragraphes suivants (§3.5.1 à 3.5.3) pour ce qui concerne les couches SYRAH et RHT. Ces deux supports de découpage couvrant tous les bassins de France métropolitaine font l'objet d'une analyse comparative. Les résultats du travail réalisé sur les drains principaux des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne n'étant pas comparables en termes de périmètre, ces derniers ne sont présentés qu'en annexe du document (annexe 6).

#### 3.5.1 Densité d'obstacles

La densité d'obstacles est calculée en divisant le nombre d'obstacles par la longueur de la partie cours d'eau observée (tronçons ou segments de cours d'eau suivant le support utilisé). Les cartographies ci-dessous présentent les résultats à l'échelle nationale par rang de Strahler homogène sur les supports SYRAH (cartographie 3) et RHT (cartographie 4). La densité d'obstacles est affichée par classe, en nombre d'ouvrages par kilomètre. Quelle que soit la couche cours d'eau utilisée on observe globalement que **l'amont des bassins est affecté par une pression plus forte en termes de densité d'obstacles**. Vers l'aval, le cours des grands fleuves (Loire, Garonne, Seine, Rhône ...) apparaît moins entravé en terme de densité d'obstacle.



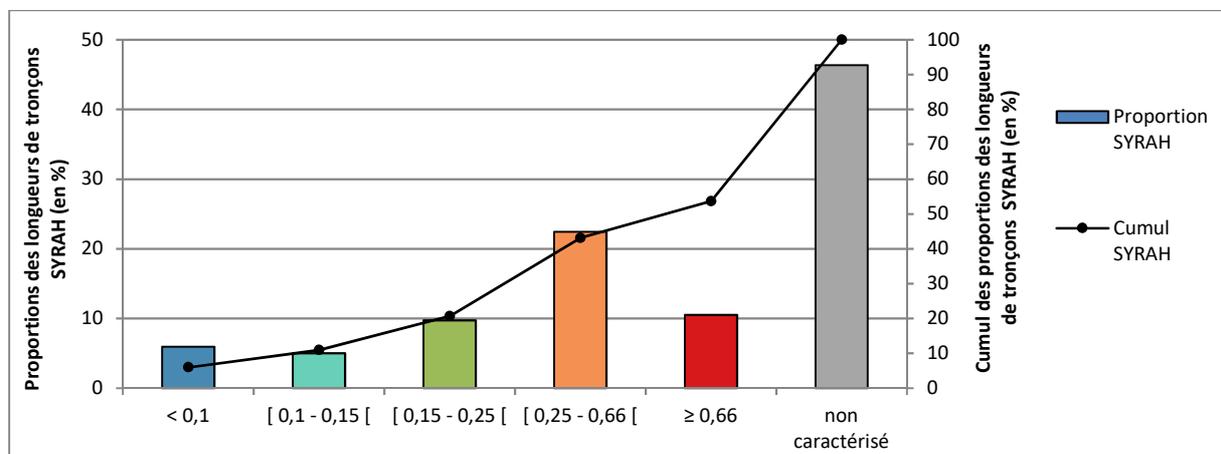
Cartographie 5 : Densité par classe des tronçons syrah agrégés par rang de Strahler homogène



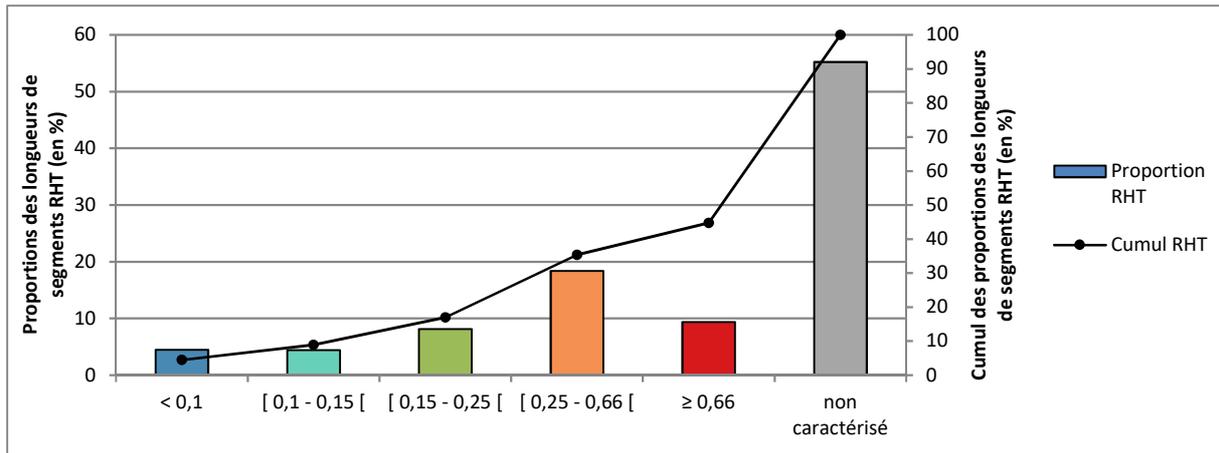
Cartographie 6 : Densité par classe, des segments RHT agrégés par rang de Strahler homogène

Les graphiques 6 et 7 présentent les proportions de longueurs (SYRAH ou RHT) par classe de densité. Il est à noter que ces classes ont été définies de façon empirique par expertise. Elles ne sont pas réparties de façon linéaire suivant la distance inter-barrage. Les parties de cours d'eau non caractérisées pour l'indice de densité représentent 46% des tronçons Syrah et 55 % des segments RHT. Cet écart entre les deux distributions est lié au fait que le réseau hydrographique du RHT est plus développé que celui de Syrah sur les têtes de bassin.

Les graphiques ci-dessous témoignent d'une distribution des résultats très comparable d'un support à l'autre. On observe globalement des densités élevées sur la plus grande partie du réseau hydrographique. **Plus de la moitié du linéaire caractérisé présente une densité supérieure à 0,25 ouvrage par kilomètre soit 1 ouvrage tous les 4 kilomètres.** La plus large classe délimitée (0,25- 0,66) est la plus représentée avec 22% du linéaire total pour SYRAH et 18% pour le RHT.



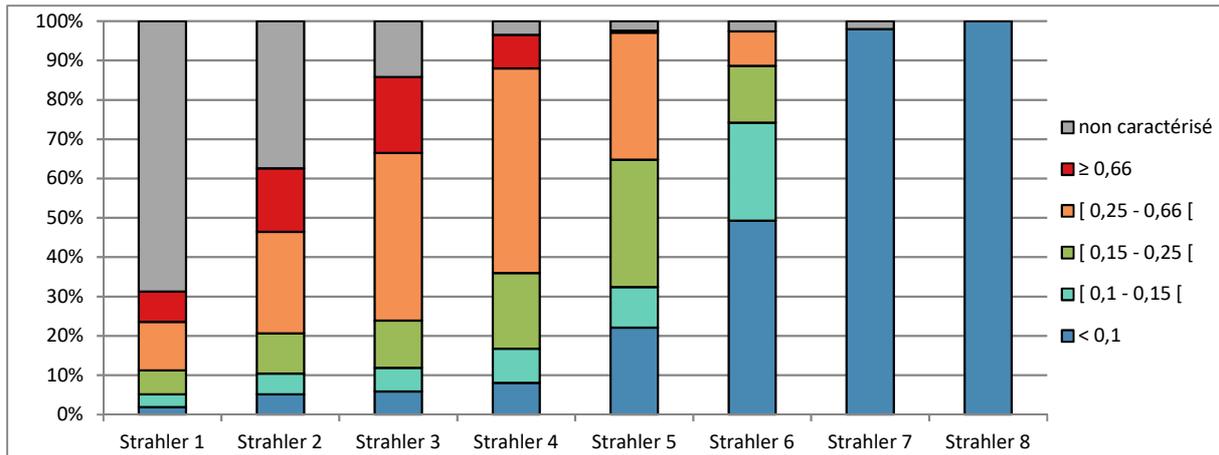
Graphique 6 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de tronçons Syrah par classe de densité



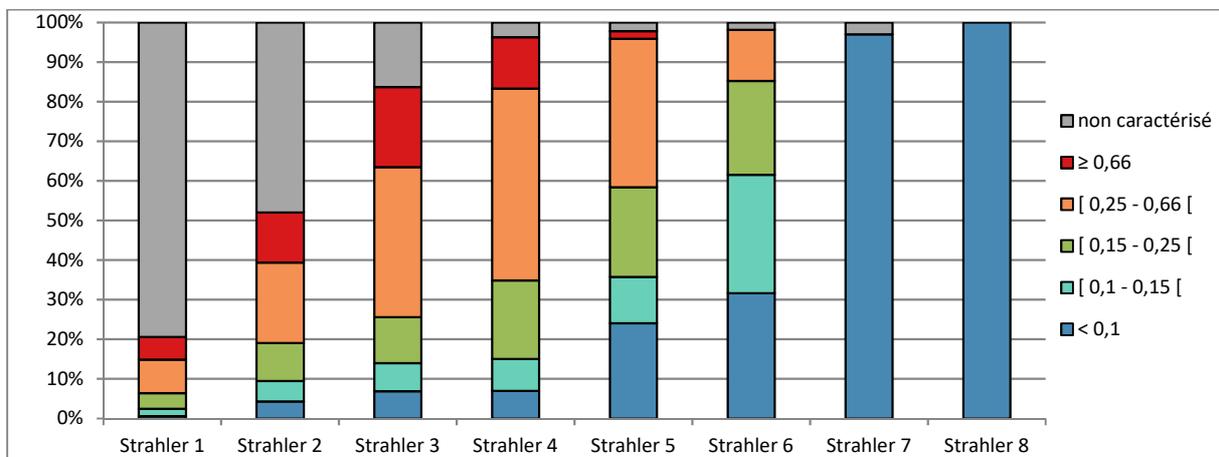
Graphique 7 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de segments RHT par classe de densité

Les graphiques 8 et 9 ci-dessous présentent la répartition des linéaires de cours d'eau détaillés par rang de Strahler et classe de densité. Quel que soit le support, on observe **une densité plus importante sur les rangs faibles et moyens**. En termes de proportions de linéaires caractérisés, cette répartition est **relativement stable du rang 1 au rang 5**. La densité diminue ensuite à partir du rang 6 (moins de 15% du linéaire total au-delà de 0,25 ouvrage/km, aucun pour les rangs 7 et 8).

Le contexte d'aménagement n'est sans doute pas étranger à ce résultat. En effet, la densité d'ouvrages est limitée en raison des pentes très faibles qui caractérisent généralement les rangs très élevés. Par construction, le besoin de chute artificielle est d'autant plus faible que la pente est faible, pour répondre à un même besoin de maintien de niveaux d'eau sur une longueur de remous importante (contexte des plaines alluviales). C'est ce qui explique que **les densités linéaires tendent à diminuer rapidement dans les parties les plus aval du réseau hydrographique**. Il est donc naturel que les ouvrages soient moins nombreux sur les rangs très importants. A l'opposé, il est probable que les densités seraient plus marquées sur les rangs les plus faibles, si l'inventaire des ouvrages n'était pas pénalisé en termes de complétude au fur et à mesure que le rang de Strahler diminue. En effet, les densités ont probablement tendance à augmenter vers l'amont, sur les cours d'eau à faible module, là où l'aménagement d'ouvrages pose moins de problème constructif (conditions d'aménagement plus facile pour les retenues et recours plus important à des seuils pour les prélèvements d'eau, contrairement au contexte des grands cours d'eau).



Graphique 8 : Répartition des linéaires de tronçons Syrah par rang de Strahler, distribués par classe de densité



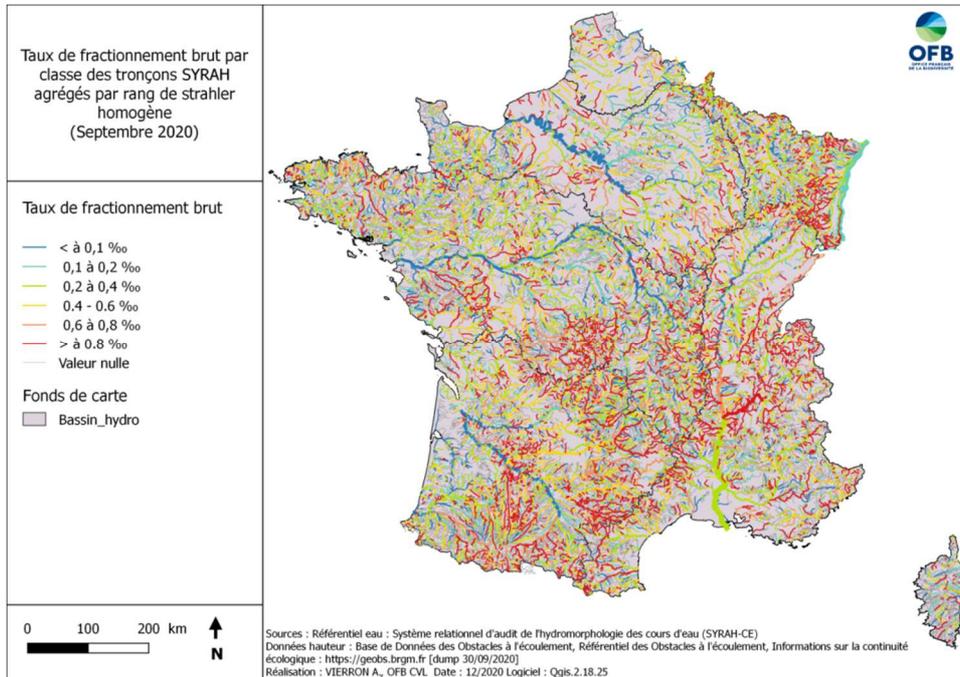
Graphique 9 : Répartition des linéaires de segments RHT par rang de Strahler, distribués par classe de densité

### 3.5.2 Taux de fractionnement brut

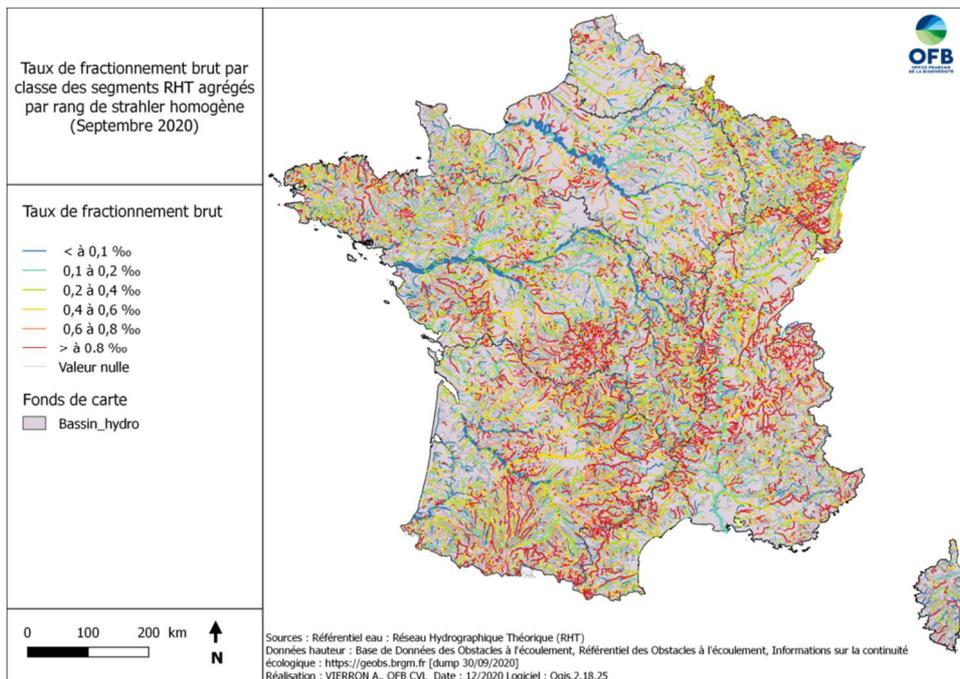
**Seuls les résultats du taux de fractionnement brut sont présentés dans le corps du présent document.** En l'état actuel des expertises partagées dans la BDOe (depuis octobre 2018), seuls 146 ouvrages équipés sont décrits avec un « avis technique global positif ». Parmi eux, 137 sont interceptés par la couche SYRAH, 141 par le RHT. Fin 2020, l'effort d'évaluation nécessaire au calcul des autres taux de fractionnement (net ou médian) a principalement été déployé dans le bassin Loire-Bretagne. **En dépit de son caractère nécessaire à l'évaluation de la restauration de la continuité écologique (donnée prioritaire), la complétude du champ « avis technique global » est encore nettement insuffisante pour cartographier et analyser les taux de fractionnement net ou médian à l'échelle de la France entière.** L'enrichissement de la BDOe sur la conformité globale des ouvrages équipés est attendu pour 2021.

Les cartographies ci-dessous présentent le taux de fractionnement brut appliqué aux linéaires cartographiés sur la base de SYRAH (cartographie 5) et sur la base du RHT (cartographie 6). Les résultats sont exprimés en pour-mille, distribués en six classes. Le découpage des cours d'eau et les ouvrages utilisés pour ce calcul sont identiques à ceux utilisés pour la densité d'obstacles.

Comme pour la densité, on observe des taux de fractionnement plus élevés sur les têtes de bassin, quel que soit le support utilisé. Ce résultat n'est pas étonnant puisque le taux de fractionnement n'est autre que la densité des ouvrages pondérée par leur chute. Toutefois, **en termes de fractionnement, ce gradient de pression vers les têtes de bassin apparait encore plus marqué qu'à travers la densité d'obstacle.**



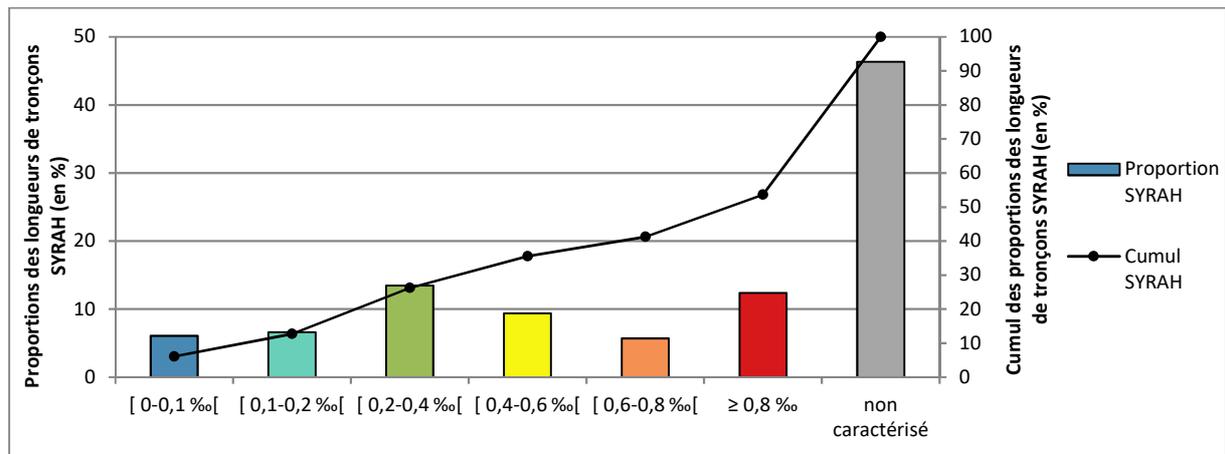
Cartographie 7 : Taux de fractionnement brut par classe des tronçons syrah agrégés par rang de Strahler homogène



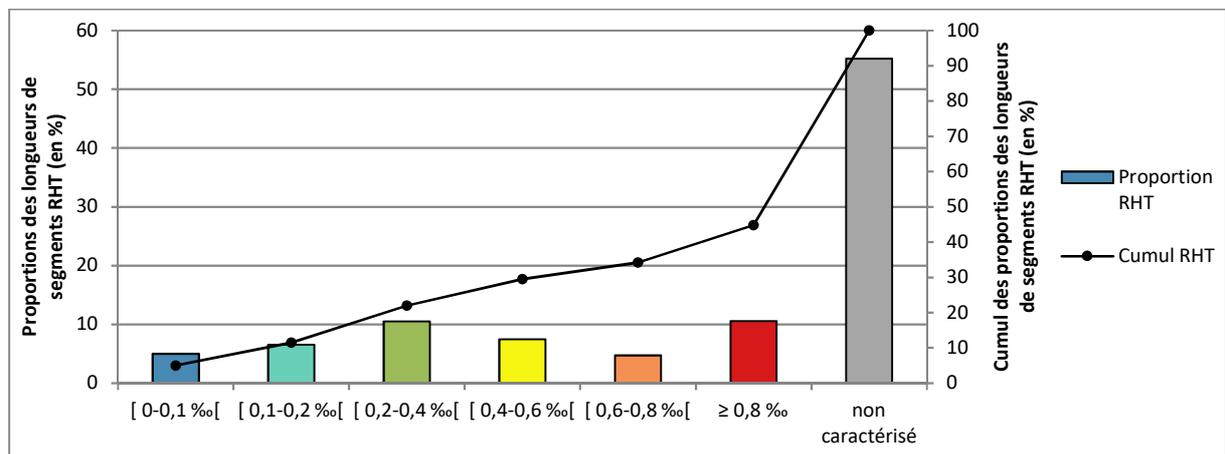
Cartographie 8 : Taux de fractionnement brut par classe des segments RHT agrégés par rang de Strahler homogène

Les graphiques 10 et 11 présentent les proportions de longueurs de tronçons (SYRAH) ou de segments (RHT) par classe de fractionnement. Comme pour la densité, ces classes ont été définies de façon empirique. Ces classes de pression sont réparties entre zéro et l’infini avec des amplitudes significatives et comparables à dire d’expert. Les observations qui suivent sont donc dépendantes du choix retenu pour discrétiser ces classes (5 classes ou 6 classes ... tranches de 10 % ou 20 % ...).

Quel que soit le support utilisé, la distribution globale des résultats est pratiquement la même en termes de classes de fractionnement. A amplitude égale au sein de la distribution, par tranche de 20%, les taux de fractionnement brut inférieurs à 0,2 ‰ couvrent la part la plus importante du résultat avec ¼ du linéaire caractérisé (24% pour SYRAH, 26% pour le RHT), puis la répartition diminue régulièrement jusqu’à la dernière classe bornée [0,6- 0,8‰].



Graphique 10 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de tronçons Syrah par classe de fractionnement brut



Graphique 11 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de segments RHT par classe de taux de fractionnement brut

Les graphiques 12 et 13 présentent la distribution des linéaires SYRAH et RHT par rang de Strahler et par classe de fractionnement. Pour mémoire, 46 % du linéaire SYRAH et 55% du linéaire RHT n'ont pas pu être qualifiés faute d'ouvrage intercepté à moins de 75m du réseau. La plus grande partie des linéaires non qualifiés sont de rang de Strahler 1. Pour mémoire, il s'agit du chevelu hydrographique sur lesquels l'inventaire des ouvrages est généralement incomplet.<sup>10</sup>

Pour les rangs de Strahler allant de 1 à 5, la distribution des classes de fractionnement est comparable d'un support à l'autre. Pour les trois rangs de Strahler les plus élevés, les résultats sont moins structurés et certaines classes disparaissent car l'échantillon est trop limité. En effet, ces rangs supérieurs ou égaux à 6 représentent moins de 3% du linéaire global pour chaque trame hydrographique utilisée.

**Globalement, la pression de fractionnement apparaît stable et homogène sur les rangs faibles (de 1 à 4) puis elle commence à diminuer sur les cours d'eau plus importants, à partir du rang 5.**

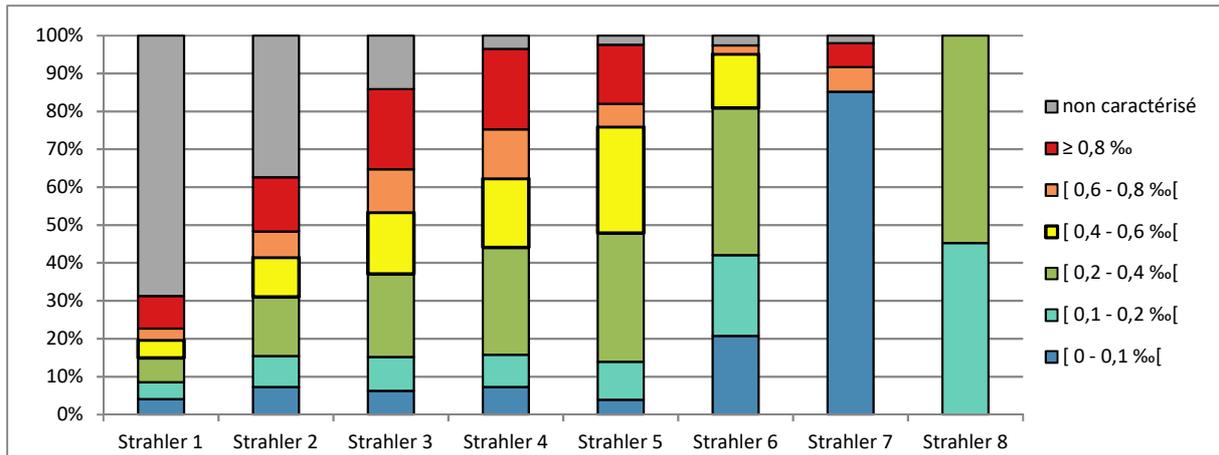
Il existe néanmoins certains biais inhérents aux rangs les plus forts. L'ordination hydrographique n'est pas suffisamment fiable au niveau des rangs 7 et 8 pour analyser les résultats à ce niveau hydrographique, notamment sur SYRAH (voir § 3.3.2). Par ailleurs, dans la mesure où les échantillons de rangs 7 et 8 sont très petits au sein de la distribution (Syrah ou RHT) et sachant que certains très grands cours aval conservent des caractéristiques d'écoulement totalement libre d'obstacle (Loire aval, Vienne aval, Garonne aval, Adour aval...) ces derniers peuvent avoir un poids très important dans les échantillons de rangs 7 et 8.

Comme pour la densité, il est probable que les taux de fractionnement brut aient tendance à augmenter vers l'amont (sur les rangs plus petits), là où l'aménagement des ouvrages transversaux pose moins de problème constructif et où ils présentent généralement des hauteurs de chute plus élevées. Cette observation rejoint les résultats d'analyse de la distribution régionale des hauteurs de chute. En effet, **les hauteurs de chute sont globalement plus fortes dans les zones de relief, ce qui devrait avoir tendance à augmenter le taux de fractionnement brut vers l'amont dans la gamme des rangs de Strahler les plus faibles.** De plus, avec un inventaire plus complet des ouvrages sur les têtes de bassin, il est probable que la pression réelle de fractionnement soit en fin de compte plus marquée sur les rangs 1 et 2.

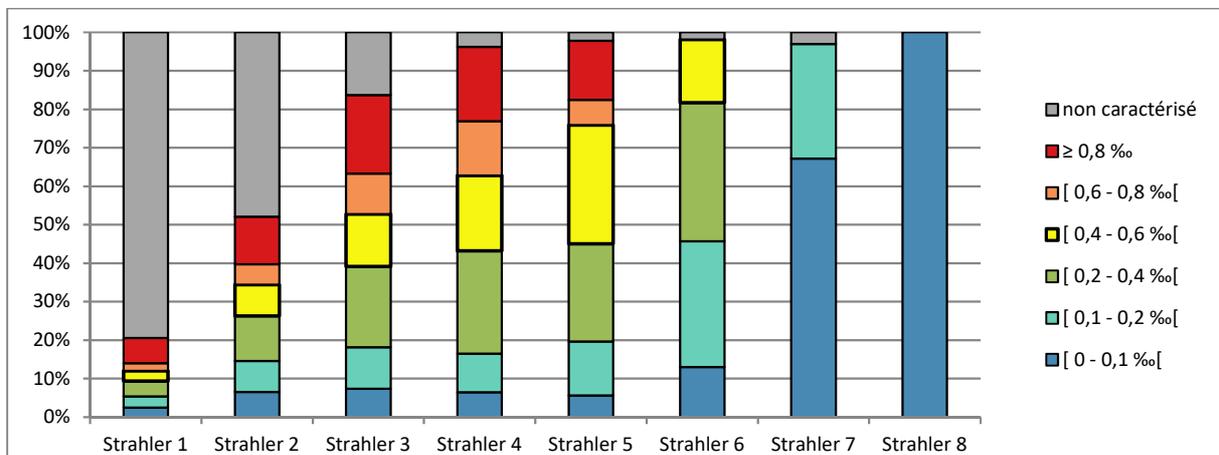
A l'opposé de la distribution, la tendance à la diminution du taux de fractionnement à partir du rang 5 est probablement liée à la réduction des hauteurs de chutes dans les contextes aval (bas-reliefs). En effet **les ouvrages sont généralement plus bas et moins nombreux dans les contextes de rangs très importants. Par conséquent le taux de fractionnement tend à diminuer d'autant plus rapidement vers l'aval.**

---

<sup>10</sup> Le manque de complétude concernant le recensement des ouvrages dans les petits affluents n'est pas nécessairement une faille à combler. En effet, renseigner l'existence de nombreux ouvrages en tête de bassin dans un objectif de complétude implique par la suite un gros effort de mise à jour de la donnée enregistrée.



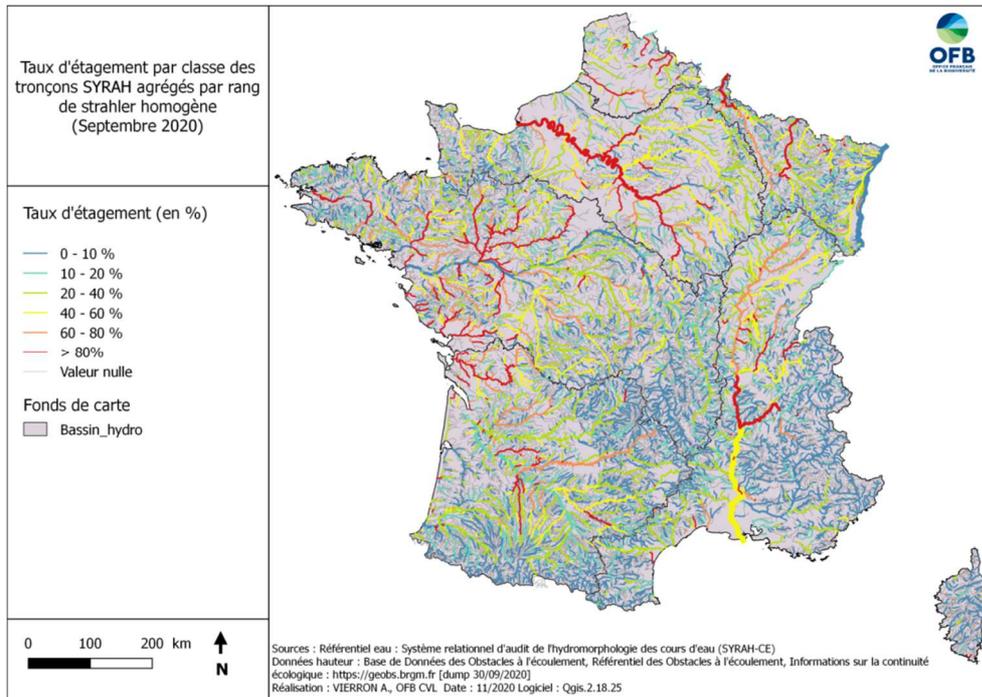
Graphique 12 : Répartition des linéaires de tronçons Syrah par rang de Strahler, distribués par classe de taux de fractionnement brut



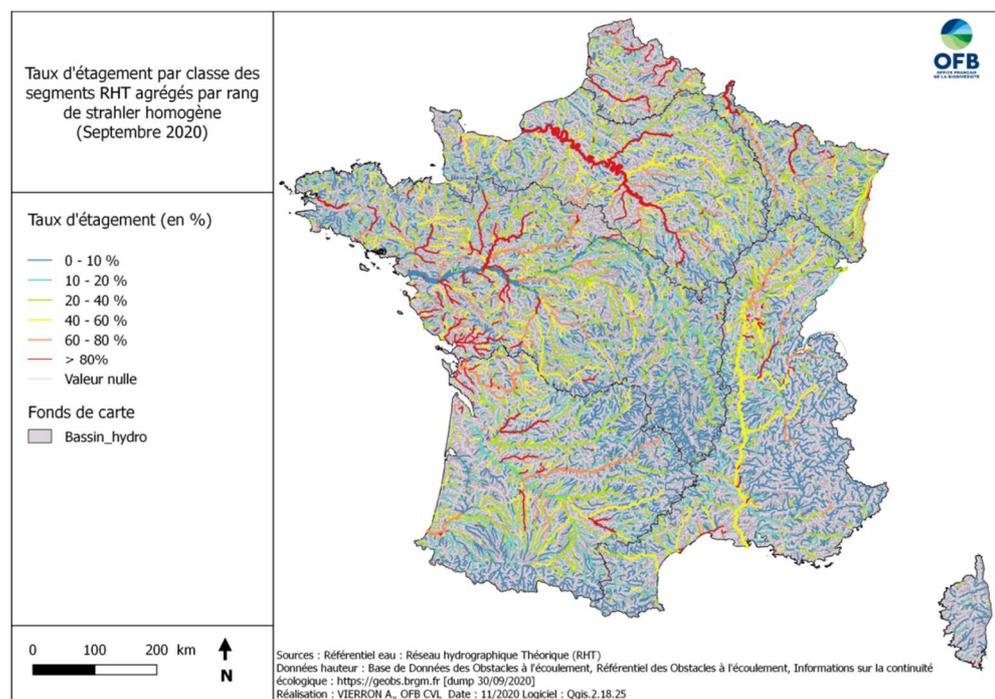
Graphique 13 : Répartition des linéaires de segments RHT par rang de Strahler, distribués par classe de taux de fractionnement

### 3.5.3 Taux d'étagement

Les cartographies suivantes présentent la répartition des taux d'étagement pour chaque linéaire SYRAH (cartographie 7) et RHT (cartographie 8). Les résultats sont exprimés en pourcentage et répartis en 6 classes. Pour rappel, les tronçons SYRAH et segments RHT de rang 1 de Strahler sont retirés du calcul d'étagement (détails du calcul de taux d'étagement, § 3.1.2).



Cartographie 9 : Taux d'étagement par classe des tronçons syrah agrégés par rang de Strahler homogène



Cartographie 10 : Taux d'étagement par classe des segments RHT agrégés par rang de Strahler homogène

A l'échelle de la France, la part du linéaire de cours d'eau caractérisé est comparable d'un support hydrographique à l'autre : 37% du linéaire caractérisé pour SYRAH, 34% pour le RHT. Cependant, le réseau hydrographique RHT étant plus développé sur les têtes de bassin, plus de 13 000 km de cours d'eau supplémentaires sont caractérisés avec ce dernier.

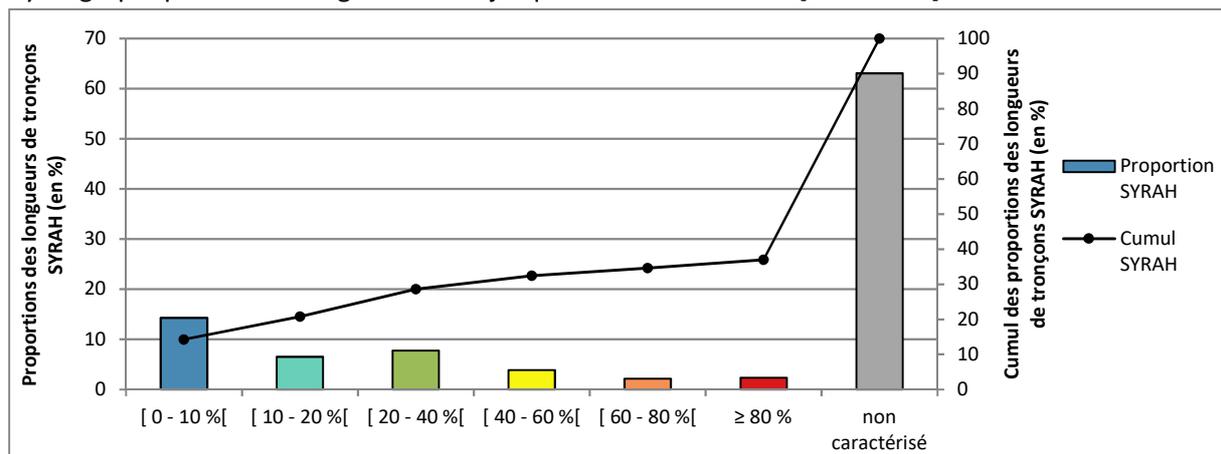
La part importante de cours d'eau non caractérisés (SYRAH : 63% ; RHT : 66%) correspond à plusieurs cas de figure.

La première explication correspond aux rangs de Strahler 1 qui ont été écartés dès le début du calcul propre à l'étagement. Le linéaire de cours d'eau sur lequel le taux d'étagement a pu être calculé est ainsi divisé de moitié par conception. Ensuite, certaines parties de cours d'eau n'ont pas été caractérisées, soit parce qu'elles n'ont pas intercepté d'ouvrages, soit parce que leurs dénivelées apparaissent négatives.

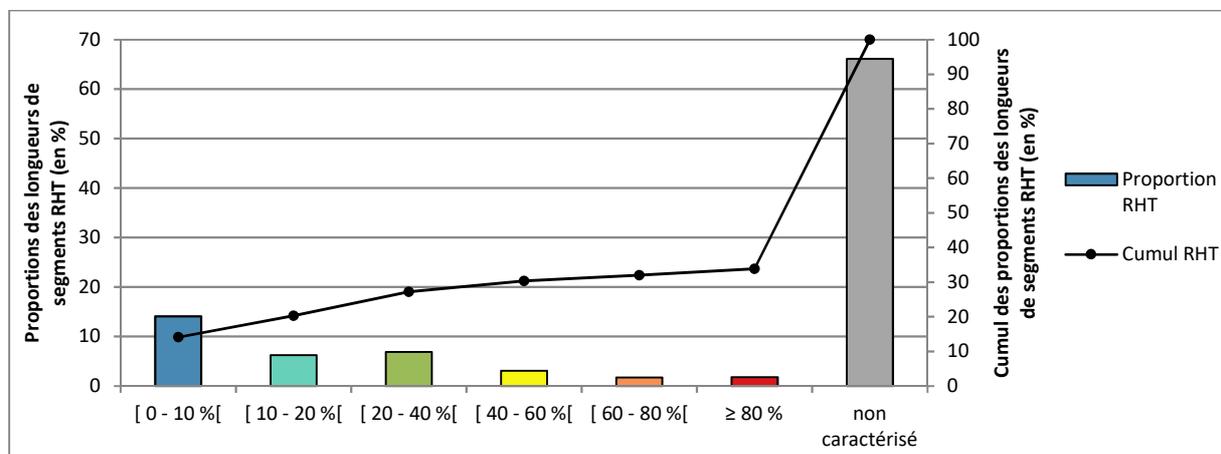
Les graphiques ci-dessous présentent la répartition des linéaires SYRAH (graphique 14) et RHT (graphique 15) par classe de taux d'étagement, pour la France métropolitaine. A cette échelle, on observe globalement une distribution similaire entre les deux supports de découpage hydrographique. **La classe d'étagement qui couvre le plus de linéaire correspond au niveau de pression d'étagement le plus faible [0 - 10%].** Les classes d'étagement les plus élevées ([60-80%] et [80%-100 %]) couvrent nettement moins de linéaire.

Le fait que les taux d'étagement les plus faibles (entre 0 % et 40%) soit mieux représentés s'explique assez facilement. **La longueur des rangs de Strahler faibles domine à l'échelle du réseau hydrographique et ces petits cours d'eau sont moins sensibles à la pression d'étagement, en raison de leur pente généralement plus élevée (rang faible = probabilité d'étagement faible).**

A amplitude égale au sein de la distribution (par tranche de 20%) la répartition globale du linéaire hydrographique diminue régulièrement jusqu'à la dernière classe [60% - 80%].



Graphique 14 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de tronçons Syrah par classe d'étagement



Graphique 15 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de segments RHT par classe de taux d'étagement

La distribution des longueurs de tronçons Syrah et segments RHT est détaillée par classe de taux d'étagement et par rang de Strahler dans les graphiques 16 et 17 (ci-dessous).

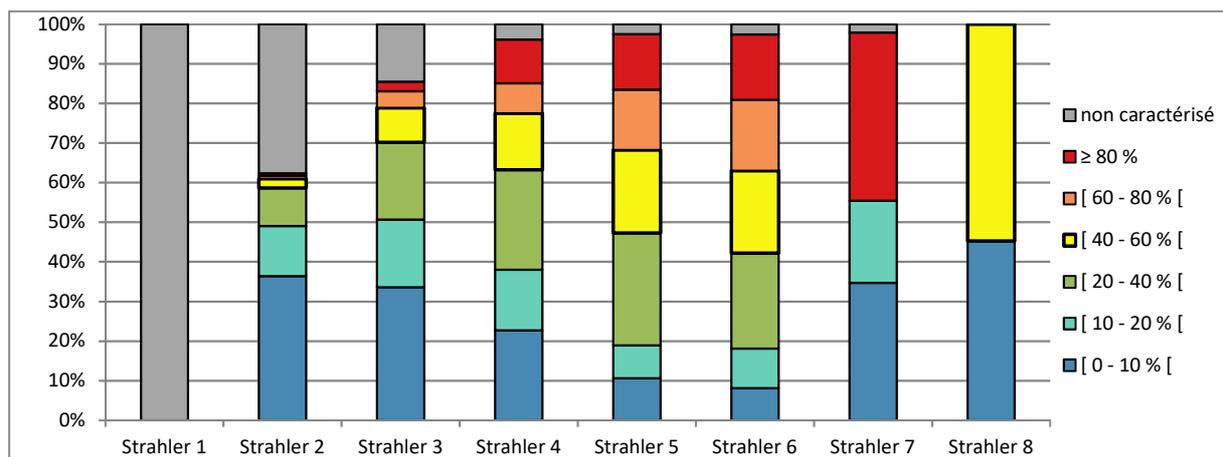
La tendance générale se confirme du rang 2 au rang 6 : plus les rangs de Strahler augmentent, plus la part de linéaire affectée par de fort taux d'étagement augmente. Sur les rangs 2 évalués, la moitié du linéaire est très peu étagé (taux d'étagement <10%) alors que sur les rangs 6 moins de 10% du linéaire est caractérisé par ce niveau minimum de pression morphologique (0% sur le RHT).

Les portions de cours d'eau de rangs 7 et 8, couvrent environ 2% du linéaire à l'échelle nationale, quel que soit le support hydrographique. Ce sont les linéaires les moins nombreux et les plus longs. Comme pour les autres indices, les échantillons composés par ces très grands cours ne sont pas suffisants pour apprécier précisément la distribution des résultats dans leurs catégories.

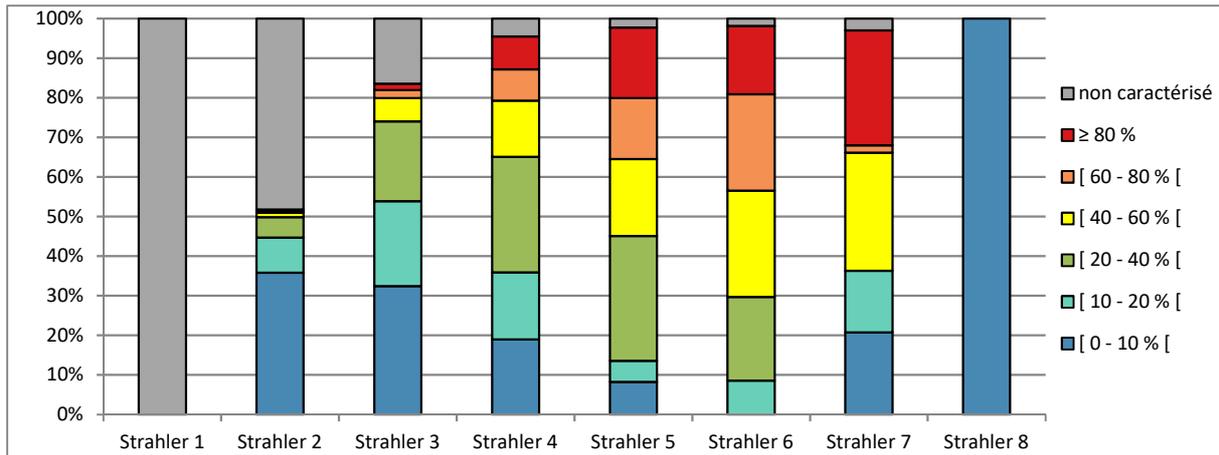
En raison de la portée de l'effet retenue (longueur de remous) qui augmente avec la réduction de la pente du cours d'eau, **les taux d'étagement ont fortement tendance à augmenter vers l'aval jusqu'au rang 6, en même temps que la pente diminue.**

Cependant, à l'extrémité aval de l'ordination hydrographique, de très grands cours d'eau se caractérisent par des écoulements totalement libres d'obstacle (cours aval de certains grands fleuves comme la Loire, la Garonne ou l'Adour). Ces derniers ont un poids important dans la catégorie étroite des cours d'eau les plus importants du réseau. Ainsi, la classe d'étagement la plus faible domine à l'extrémité aval du réseau (importance de la classe d'étagement proche de zéro sur les rangs 7 et 8).

Globalement, à la lecture des cartes et graphiques (ci-dessous), la distribution des taux d'étagement par rang de Strahler apparait plus cohérente sur le découpage RHT, notamment sur les grands cours d'eau où l'ordination du RHT semble plus fiable que celle de SYRAH.



Graphique 16 : Répartition des linéaires de tronçons Syrah par rang de Strahler, distribués par classe de taux d'étagement.



Graphique 17 : Répartition des linéaires de segments RHT par rang de Strahler, distribués par classe de taux d'étagement

### 3.6 Comparaison des résultats selon la couche « cours d'eau » utilisée

#### 3.6.1 Comparaison des couches cours d'eau utilisées

Le choix de la couche « cours d'eau » utilisée pour le calcul des indices de pression dépend de l'objectif recherché. Il peut être rapidement imposé par des contraintes opérationnelles de gestion (référentiel d'évaluation et de gestion mis au point par masse d'eau à l'échelle d'un bassin, découpage adapté au besoin d'un opérateur impliqué à l'échelle d'un Schéma de gestion et d'aménagement des eaux ou d'un contrat territorial, référentiel national dimensionné pour le rapportage européen). Par contre la réalisation des scripts, des cartographies et des documents d'accompagnement s'avère longue et complexe (objet du présent document). Il est donc utile de mutualiser le calcul des indices par emboîtement d'échelle jusqu'au niveau national.

La couche des drains principaux de masse d'eau fournie par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (AELB) ne couvre que le bassin de ce district hydrographique (annexe 6). Cette couche est mobilisable sans modification et doit être améliorée par les géomaticiens de l'AELB pour se rapprocher progressivement de la réalité topographique. La couche actuellement disponible ne comporte pas de donnée « rang de Strahler », ce qui limite l'analyse des résultats par dimension de cours d'eau. Par ailleurs, cette couche structurée par les principaux cours d'eau ne prend pas en compte les affluents correspondant au chevelu hydrographique.

La couche « cours d'eau » SYRAH couvre l'ensemble du territoire métropolitain. Cette couche correspond au référentiel national établi par Irstea pour traiter l'hydromorphologie des cours d'eau dans le cadre de l'Etat des lieux 2013. Les tronçons géomorphologiques homogènes de ce projet ont été délimités manuellement sur la base d'une analyse cartographique, selon différents critères, notamment topographique et géologique. La dimension de ces tronçons s'avère limitée par rapport à l'emprise des retenues et à la distance moyenne qui séparent les obstacles. Dès lors, ces tronçons sont trop courts pour répondre au besoin d'évaluation des pressions cumulatives générées par les ouvrages. En revanche, cette couche a l'avantage de fournir l'attribut « rang de Strahler ». Afin d'obtenir une échelle acceptable pour pouvoir calculer des effets cumulés, il a été nécessaire d'adapter la couche

Syrah en agrégeant, par rang de Strahler homogène, l'ensemble de ses tronçons. Cette agrégation permet d'améliorer la pertinence des résultats à l'échelle des cours d'eau et facilite leurs analyses. Les parties de cours d'eau ainsi définies couvrent tout le réseau Syrah mais, finalement, près de 50% de ce linéaire ne peut être caractérisé en termes de résultats, en raison du manque de complétude ROE sur le chevelu hydrographique. De plus, certains défauts de cohérence en matière de délimitation physique et/ou de chaînage hydrographique pénalise l'utilisation de ce support. Enfin, il est à craindre que le référentiel de Syrah ne puisse plus faire l'objet d'amélioration ni de mise à niveau dans les années à venir (absence de transparence et de traçabilité dans la délimitation et la justification de chaque tronçon). C'est pourquoi, le calcul des indices a aussi été testé sur une autre couche cours d'eau, avec une conception rigoureusement hydrographique, à travers un mode de découpage plus simple et reproductible, à savoir le Réseau hydrographique théorique (RHT).

La couche « cours d'eau » RHT, élaborée par un autre service d'Irstea, couvre également l'ensemble du territoire métropolitain. Elle intéresse tous les utilisateurs qui ont l'habitude de croiser largement les données hydrologiques et les données écologiques. Globalement, la couche RHT est plus étendue que celle de SYRAH. De plus, son chaînage et ses attributs « rangs de Strahler » apparaissent plus proches de la réalité hydrographique des cours d'eau. Les segments du RHT sont découpés automatiquement, de manière rigoureuse, sur la base d'un modèle numérique de terrain. Chaque confluence marque l'arrêt et le début d'un nouveau segment. Ce découpage automatique imposé par la topographie des bassins et l'écoulement des eaux est établi de façon claire et homogène, alors que le découpage des tronçons Syrah est exposé à de nombreux facteurs d'hétérogénéité en raison de son élaboration manuelle.

Tout comme les tronçons Syrah, les segments RHT sont trop courts par rapport à la distance moyenne entre deux obstacles et cette limite demande une agrégation par rang de Strahler homogènes.

Le support RHT présente d'autres limites :

- l'automatisation de l'élaboration du RHT sur la base du modèle numérique de terrain se traduit par la formation d'un tracé en ligne brisée, moins fluide que la cartographie des tronçons SYRAH ;
- lors de l'agrégation par rang homogène, une part aléatoire des segments a perdu l'orientation amont/aval. Ainsi, lors du calcul des dénivelés, certaines différences d'altitude apparaissent négatives alors qu'elles devraient être positives. La résolution de ce problème n'ayant pu être réglée correctement dans les temps impartis, ces dénivelés négatifs ont été multipliés par -1 afin de les transformer en valeurs positives ;
- lorsque deux segments de même rang confluent à un estuaire (pas de segment de rang supérieur en aval), les segments sont agrégés dans une même unité géométrique, sous forme de fourche. Lors du calcul des dénivelés, le script appelle une différence d'altitude entre le point amont et le point aval. Dans ce cas, la fourche donne deux points amont. Le script sélectionne alors de manière aléatoire un des deux points amont pour calculer le dénivelé. Lors de cette opération, le segment de la fourche qui n'a pas été sélectionné pour le calcul du dénivelé est automatiquement supprimé. L'exemple le plus frappant se situe à la confluence entre la Garonne et la Dordogne où cette dernière a été supprimée dans le calcul des dénivelés.

Ces difficultés rencontrées sur le RHT devront trouver des solutions dans le cadre de la poursuite de ce travail.

Au final, l'intérêt du RHT tient principalement à la rigueur conceptuelle de son découpage ainsi qu'aux nombreuses informations qu'apportent ses attributs sur les caractéristiques mésologiques des segments hydrographiques. En termes de résultats, ces avantages ouvrent plus de perspectives d'utilisation et de valorisation des données.

### 3.6.2 Comparaison des résultats entre les deux supports

Le RHT constitue le support hydrographique le plus étendu, avec 59 000 km de cours d'eau en plus par rapport à Syrah.

La dimension moyenne la plus satisfaisante pour évaluer les effets cumulés des ouvrages est celle des drains principaux de masse d'eau, avec 19km de linéaire moyen. La longueur moyenne des tronçons Syrah agrégés est généralement suffisante, même avec la prise en compte des rangs de Strahler 1. Toutefois, ce découpage pose souvent des problèmes de cohérence par rapport à la réalité hydrographique des parties de cours d'eau à évaluer. La longueur moyenne des segments agrégés du RHT est assez faible mais reste acceptable si l'on ne prend pas en compte les rangs de Strahler 1, sachant que seulement 20% d'entre eux sont caractérisés en termes de fractionnement et de densité.

Couche cours d'eau	Nombre de drains	Linéaire parcouru (km)	Longueur moyenne des tronçons (km)	Longueur moyenne des tronçons sans Strahler 1 (km)
ME Loire-Bretagne	1 886	35 829	19,0	/
SYRAH	42 373	225 203	5,3	9,4
RHT	74 169	284 260	3,8	8,2

Tableau 3 : Caractéristiques géométriques des tronçons des couches cours d'eau utilisées dans cette méthode

Le nombre d'ouvrages interceptés pour le calcul des indices est tributaire de l'étendue du linéaire parcouru par le réseau des couches « cours d'eau ». Le taux d'étagement est l'indice qui prend en compte le moins d'ouvrages dans la mesure où les rangs 1 sont systématiquement supprimés pour l'approche de l'effet retenue.

Le taux de fractionnement net ne prend pas en compte les ouvrages équipés qui ont pu être évalués avec un avis technique global positif. Le taux de fractionnement brut et le taux de fractionnement médian conservent, tout comme la densité d'ouvrages, l'ensemble des ouvrages interceptés sur les différents supports hydrographiques.

Le linéaire parcouru par le support RHT étant plus importants que SYRAH, le nombre d'ouvrages interceptés est logiquement plus important.

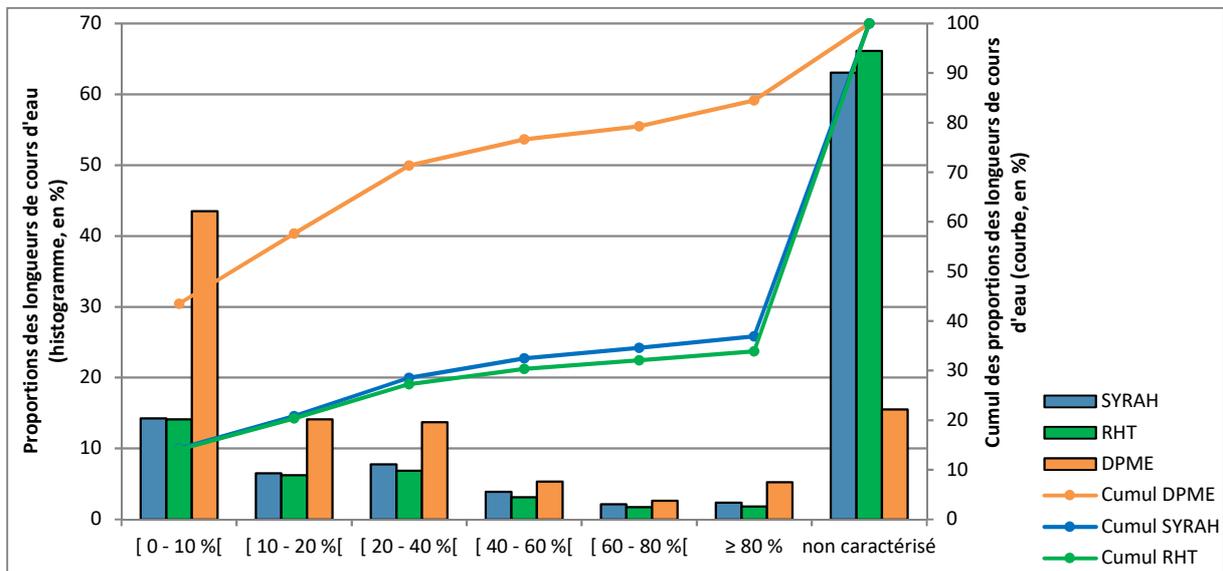
Couche cours d'eau	Etagement	Fractionnement net	Fractionnement brut et médian	Densité
--------------------	-----------	--------------------	-------------------------------	---------

<b>ME Loire-Bretagne</b>	12 487	12 420	12 487	12 487
<b>SYRAH</b>	36 331	56 196	56 333	56 333
<b>RHT</b>	42 679	61 294	61 435	61 435

Tableau 4 : Nombres d'ouvrages captés par indice selon la couche cours d'eau

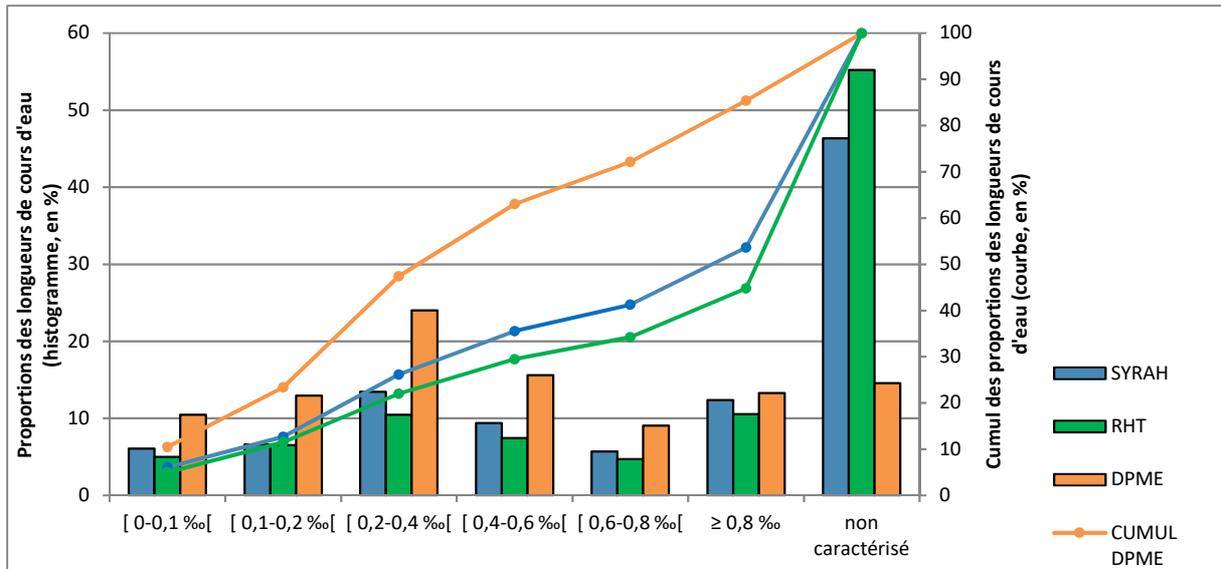
Les linéaires cumulés par classes d'indices peuvent être comparés d'un support à l'autre suivant leurs distributions (graphiques 18 à 20, ci-dessous). Que ce soit pour le taux d'étagement, le taux de fractionnement brut ou la densité d'obstacles, plus la couche cours d'eau est développée, plus la part de linéaire caractérisée est faible.

Pour le calcul du taux d'étagement, les distributions des proportions de longueurs de tronçons par classe d'indices sont presque identiques entre SYRAH et RHT.

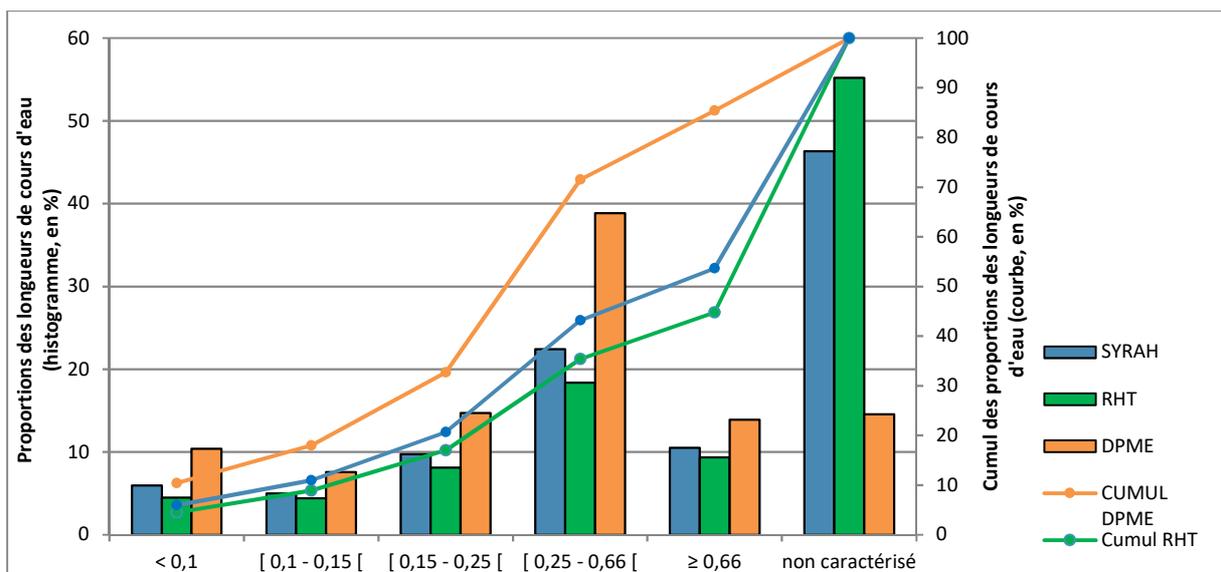


Graphique 18 : Proportions et cumuls des proportions de longueurs de drains principaux de masse d'eau, tronçons SYRAH et segments RHT par classe d'étagement

Pour le taux de fractionnement et pour la densité, la part de linéaires caractérisés est plus élevée pour SYRAH que pour le RHT. Cependant les distributions des résultats par classe de linéaires caractérisés sont tout à fait similaires (graphique 19 et 20 ci-dessous).



Graphique 19 : Proportions et cumuls des proportions de longueurs de drains principaux de masse d'eau, tronçons SYRAH et segments RHT par classe de fractionnement brut



Graphique 20 : Proportions et cumuls des proportions de longueurs de drains principaux de masse d'eau, tronçons SYRAH et segments RHT par classe de densité d'obstacles

Proportionnellement, la part des tronçons SYRAH et RHT sans résultats est très importante. Il s'agit principalement de petits affluents de rang de Strahler 1 où aucun obstacle n'a été intercepté. Cette limite d'application doit cependant être relativisée dans la mesure où, en matière de continuité écologique, les plus gros enjeux à l'échelle du bassin versant se situent généralement sur les grands axes hydrographiques. A cet égard, tous les supports utilisés donnent des résultats a priori fiables sur les grands axes à enjeu. L'évaluation de la pression ouvrages est moins fiable sur des têtes de bassin là où l'inventaire des ouvrages est souvent incomplet (résultat « null ») et où les enjeux migratoires existent, mais avec un moindre niveau de répercussion spatiale.

En d'autres termes, les enjeux de continuité écologique observés sur un écoulement dont le module atteint 100 m<sup>3</sup>/s sont différents de ceux qui concernent un écoulement dont le débit moyen se limite à 0,1 m<sup>3</sup>/s. En termes de perspectives, la donnée « débit moyen » peut fournir à cet égard une information complémentaire intéressante pour appréhender ces différences de contexte et d'enjeux (module au droit de l'ouvrage, source BDOe).

Au final, **l'analyse comparative ne fait pas apparaître de différence notable d'un support à l'autre, en termes de distribution globale des résultats** répartis par classes de pression et rangs de Strahler. Les écarts globaux sont seulement liés aux différences d'extension spatiale des supports hydrographiques et à la qualité des chainages qui conduisent aux rangs de Strahler les plus forts (7 et 8 notamment).

En revanche **l'observation détaillée des cartographies met en évidence de nombreuses différences de répartition des niveaux de pressions le long d'un même cours d'eau**, entre la carte des résultats issus de SYRAH et celle du RHT. Sauf exception, ces écarts de représentation cartographique de la pression ne sont pas dus à des différences d'ouvrages pris en compte (rares problèmes de géolocalisation au croisement des couches ouvrages et cours d'eau). **Ces différences de résultats sont principalement dues aux nombreuses différences observées dans la délimitation des rangs de Strahler entre les deux supports (SYRAH et RHT).**

## Conclusion et perspectives

Depuis le premier cycle de la DCE, la pression des ouvrages est calculée directement par le taux d'étagement du drain principal des masses d'eau, en termes d'effet retenue sur les cours d'eau, à l'échelle du bassin Loire-Bretagne. Cet indicateur de pression hydromorphologique est désormais complété par le taux de fractionnement pour évaluer la pression des ouvrages en termes d'effet barrière et par leur densité pour apprécier la répartition linéaire de la pression « ouvrages ». A l'échelle du bassin, le découpage par masse d'eau et le calcul de la pression (par masse d'eau cours d'eau) est directement adapté au suivi de l'état des lieux, mais aussi au suivi des mesures mises en œuvre pour réduire cette pression.

Après développement et validation de la méthode de calcul des indices (densité d'obstacle, taux de fractionnement, taux d'étagement), les calculs ont été élargis à l'ensemble du territoire métropolitain, en valorisant le périmètre national de la « base ouvrages » (GéObs), dans un souci d'économie d'échelle et de mutualisation inter-bassins. Pour répondre au besoin de « base cours d'eau », la couche hydrographique du système SYRAH correspond au premier support national utilisé, faute de découpage disponible par drain principal de masse d'eau au-delà du bassin Loire-Bretagne. Certains défauts de cohérence hydrographique, problématique pour le découpage nécessaire à l'évaluation de l'effet cumulatif des obstacles, nous ont amené à tester un autre support de calcul disponible au niveau national, à savoir le Réseau hydrographique théorique (RHT).

Parmi les trois supports utilisés, le découpage direct par masse d'eau (drains principaux des masses d'eau) s'avère être le plus pertinent et le plus opérationnel pour apprécier la pression des ouvrages en termes d'effets cumulés. Néanmoins ce support est mis de côté tant qu'il n'est pas disponible pour l'ensemble des bassins.

Au niveau de la France métropolitaine, les supports Syrah ou RHT donnent des résultats globalement similaires en termes de distribution des indices par rang de Strahler homogène. Nous proposons cependant de privilégier l'un d'entre eux, le RHT, pour plusieurs raisons :

- couverture hydrographique plus étendue ;
- arborescence généralement plus fiable pour assurer le découpage par rang de Strahler ;
- richesse en données attributaires (pente, largeur, débit, altitude, température etc.).

Parmi les attributs supplémentaires du RHT, certaines données pourraient utilement être testées pour améliorer le calcul des indices et le découpage du réseau :

- la largeur du cours d'eau au module, permettrait d'affiner la sélection des ouvrages avec un tampon variable adapté à la dimension du cours d'eau ;
- le module pourrait être utilisé comme attribut d'agrégation des segments en rapport avec la dimension de l'écoulement.

D'autres attributs RHT, comme les probabilités de présence d'espèces, pourraient être testés pour renforcer la portée des indices au plan écologique.

En tirant partie de l'outil GéObs qui permet de capitaliser la donnée obstacle au niveau national, il convient de poursuivre l'évaluation de la pression des ouvrages, dans la durée, sur un support hydrographique unique adapté à ce type de suivi pour tous les bassins. Depuis le mois d'août 2020, la première édition d'un nouveau référentiel hydrographique est disponible, à savoir la BD Topage. Cette dernière est plus précise que tous les autres supports hydrographiques et probablement plus fiable en termes d'arborescence. Ce nouveau référentiel a été élaboré dans le cadre d'une convention de coopération entre l'IGN et l'OFB. Il vise à remplacer la BD Carthage devenue obsolète en termes de précision et limitée en termes de complétude. Ce nouveau support présente l'avantage de bénéficier d'une excellente précision sur le tracé en plan des cours d'eau, ainsi que d'un bon chaînage de segments. Toutefois, la première édition de la BD Topage ne fournit pas l'information « rang de Strahler ». Un travail pourrait être conduit pour compléter ce référentiel prometteur, afin de le rendre directement exploitable en lien avec le référentiel des obstacles à l'écoulement et le suivi des pressions qu'ils génèrent sur les cours d'eau.

Il serait également utile de poursuivre la démarche en croisant les résultats des indices de pression « ouvrages » avec les données biologiques de colonisation du réseau par les poissons migrateurs. Ce prolongement permettrait notamment de mieux valoriser le taux de fractionnement en termes d'indicateur de l'effet barrière des ouvrages sur la continuité écologique à l'échelle du réseau hydrographique.

## Bibliographie

- actu-environnement (2017) Continuité écologique : certains moulins hydrauliques dispensés de leur obligation. In: Actu-Environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/moulins-continuite-ecologique-dispense-obligations-28475.php4>. Accessed 10 May 2019
- Agence Française pour la Biodiversité (2019) Note de Service : Priorités d'actions pour l'acquisition des connaissances relatives aux obstacles sur cours d'eau au sein du Géoréférencier des Obstacles - Version non définitive
- Agence Française pour la Biodiversité (2017) Projet BDOe : Base de Données sur les Obstacles à l'Écoulement
- Alterre Bourgogne (2019) Fragmentation des cours d'eau
- Baudoin J-M, Burgun V, Chanseau M, et al (2014) Information sur la Continuité Ecologique - ICE, Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons, Principes et méthodes.
- Berthier C, Steinbach P (2016a) Méthode de calcul du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement, traitements sur les tronçons hydromorphologiques homogènes de France métropolitaine et sur les masses d'eau du bassin Loire-Bretagne
- Berthier C, Steinbach P (2016b) Bilan d'avancement de la saisie des ouvrages dans le référentiel des obstacles à l'écoulement sur le bassin Loire-Bretagne
- BRANDEIS A, MICHEL D (2016) Concilier la continuité écologique des cours d'eau avec la préservation des moulins patrimoniaux, la très petite hydroélectricité et les autres usages Pour un développement durable et partagé Rapport de synthèse et propositions
- Commission européenne (2019) report from the commission to the european parliament and to the council on the implementation of the Water Framework Directive and Floods Directive. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=SWD:2019:30:FIN&qid=1551267381862&from=EN>. Accessed 28 May 2019
- Eau France (2000) La Directive Cadre sur l'Eau. <http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/gestion/dce/directive.php>. Accessed 30 Apr 2019
- Hoffmann M (2008) Modélisation de l'impact des ouvrages sur les densités d'anguilles, dans le bassin Loire-Bretagne
- IGN (2017) BD ALTI® Version 2.0 - Descriptif de contenu. 29
- Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture RHT | Irstea. <https://www.irstea.fr/fr/rht>. Accessed 14 Aug 2019
- Léonard A, Augu H, Zégel P, Kreutzenberger K (2014) Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE) - Descriptif du contenu de la version simplifiée - version 6.0. 33
- Malavoi J-R, Salgues D (2010) Aide à la définition de Cahier des Charges pour les études de faisabilité Compartiments hydromorphologie et hydroécologie. 83
- Office fédéral de l'environnement (2011) Causes de la perte de biodiversité. <http://www.biodiversite2010.ch/fr/comprendre/causes/index.html>. Accessed 11 Apr 2019

- Pella H, Lejot J, Lamouroux N, Snelder T (2012) Le réseau hydrographique théorique (RHT) français et ses attributs environnementaux. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* 18:317–336
- Sandre (2013) Processus d'acquisition de données relatives à la continuité écologique. [http://sandre.eaufrance.fr/ftp/documents/fr/ddd/ice/1.0/sandre\\_dictionnaire\\_ICE\\_1.0.pdf](http://sandre.eaufrance.fr/ftp/documents/fr/ddd/ice/1.0/sandre_dictionnaire_ICE_1.0.pdf). Accessed 1 May 2019
- Sandre (2012) Dictionnaire de données : Obstacles à l'écoulement
- Secrétariat technique de bassin Loire Bretagne (2017) Fiche d'aide à la lecture du SDAGE Loire Bretagne, utilisation des indicateurs de pression imputable aux ouvrages transversaux : taux d'étagement et taux de fractionnement - dispositions 1C-2 et 1D-4. [http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/sdage\\_fiche7\\_1c2\\_1d4\\_etagement\\_fractionnement.pdf](http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/sdage_fiche7_1c2_1d4_etagement_fractionnement.pdf). Accessed 17 Oct 2018
- Souchon Y, Andriamahéfa H, Cohen P, et al (2000) Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. 297
- Valette L, Cunillera A (2018) cahiers techniques SYRAH-CE. [https://hydroeco.cemagref.fr/documents/documents-de-la-rubrique-hydromorpho/PoleLyon\\_2010\\_CahiersTechniquesSyrah\\_CE.pdf](https://hydroeco.cemagref.fr/documents/documents-de-la-rubrique-hydromorpho/PoleLyon_2010_CahiersTechniquesSyrah_CE.pdf). Accessed 17 Oct 2018
- Valette L, Piffady J, Chandesris A, Souchon Y (2012) SYRAH-CE : description des données et modélisation du risque d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau pour l'Etat des lieux DCE
- Viennot V, Berthier C, Steinbach P (2018) Fiches pratiques d'enrichissement et de mise en qualité de la BDOe
- Wasson J-G, Chandesris A, Pella H, Blanc L (2004) Les hydro-écorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur l'eau. 8
- Wasson J-G, Chandesris A, Pella H, Souchon Y (2001) Définition des hydroécorégions françaises - Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive cadre pour la gestion des eaux - rapport de phase 1
- Weingertner F, Roussel C (2010) Pourquoi rétablir la continuité écologique des cours d'eau ?

## Table des cartographies

Cartographie 1 : Les obstacles à l'écoulement recensés en 2019 et leurs distances à la mer.....	7
Cartographie 2 : Source de la donnée hauteur de chute retenue pour le calcul des indices .....	17
Cartographie 3 : Caractérisation de la hauteur de chute des obstacles à l'écoulement .....	19
(Cartographie 4 : Les tronçons SYRAH-CE agrégés par rangs de Strahler homogène mesurant plus de 100km.).....	25
Cartographie 5 : Densité par classe des tronçons syrah agrégés par rang de Strahler homogène .....	29
Cartographie 6 : Densité par classe, des segments RHT agrégés par rang de Strahler homogène .....	30
Cartographie 7 : Taux de fractionnement brut par classe des tronçons syrah agrégés par rang de Strahler homogène .....	33
Cartographie 8 : Taux de fractionnement brut par classe des segments RHT agrégés par rang de Strahler homogène .....	33
Cartographie 9 : Taux d'étagement par classe des tronçons syrah agrégés par rang de Strahler homogène.....	37
Cartographie 10 : Taux d'étagement par classe des segments RHT agrégés par rang de Strahler homogène.....	37

## Table des graphiques

Graphique 1 : Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les barrages existants.....	20
Graphique 2 : Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les seuils existants.....	21
Graphique 3 : Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les obstacles induits par un pont existants. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale. ....	22
Graphique 4 : fréquences cumulées croissantes des longueurs de tronçons Syrah par rang de Strahler en France. Source de la donnée : Syrah. ....	25
Graphique 5 : Fréquences cumulées croissantes des longueurs de segments RHT par rang de Strahler en. Source de la donnée : RHT.....	26
Graphique 6 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de tronçons Syrah par classe de densité.....	30
Graphique 7 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de segments RHT par classe de densité.....	31
Graphique 8 : Répartition des linéaires de tronçons Syrah par rang de Strahler, distribués par classe de densité .....	32
Graphique 9 : Répartition des linéaires de segments RHT par rang de Strahler, distribués par classe de densité .....	32
Graphique 10 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de tronçons Syrah par classe de fractionnement brut.....	34
Graphique 11 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de segments RHT par classe de taux de fractionnement brut.....	34
Graphique 12 : Répartition des linéaires de tronçons Syrah par rang de Strahler, distribués par classe de taux de fractionnement brut.....	36
Graphique 13 : Répartition des linéaires de segments RHT par rang de Strahler, distribués par classe de taux de fractionnement .....	36
Graphique 14 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de tronçons Syrah par classe d'étagement.....	38
Graphique 15 : Proportions (histogramme) et cumuls des proportions (courbe) des longueurs de segments RHT par classe de taux d'étagement .....	38
Graphique 16 : Répartition des linéaires de tronçons Syrah par rang de Strahler, distribués par classe de taux d'étagement. ....	39
Graphique 17 : Répartition des linéaires de segments RHT par rang de Strahler, distribués par classe de taux d'étagement .....	40
Graphique 18 : Proportions et cumuls des proportions de longueurs de drains principaux de masse d'eau, tronçons SYRAH et segments RHT par classe d'étagement.....	43
Graphique 19 : Proportions et cumuls des proportions de longueurs de drains principaux de masse d'eau, tronçons SYRAH et segments RHT par classe de fractionnement brut .....	44
Graphique 20 : Proportions et cumuls des proportions de longueurs de drains principaux de masse d'eau, tronçons SYRAH et segments RHT par classe de densité d'obstacles .....	44

## Tables des illustrations

Figure 1 : de gauche à droite : le barrage de Grangent sur la Loire, le seuil de l'ancien moulin d'Uzu sur le Thouet, l'obstacle induit par le pont de Belleville-sur-Loire ; crédit photo : Pierre Steinbach .....	6
Figure 2 : Schématisation des données appelées pour le calcul du taux d'étagement et représentation de son calcul. Source : Berthier, Steinbach, 2016, Méthode de calcul du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement.....	11
Figure 3 : Schématisation des données appelées pour le calcul du taux de fractionnement et représentation de son calcul. Source : Berthier, Steinbach, 2016, Méthode de calcul du taux d'étagement, du taux de fractionnement et de la densité des obstacles à l'écoulement.....	12
Figure 4 : Schématisation des données appelées pour le calcul de la densité et représentation de son calcul.....	14
Figure 5 : Répartition des obstacles par source de données hauteur de chute .....	18
Figure 6 : Les différentes sources de données « hauteur » de la moins précise et fiable à la plus précise.....	19
Figure 7 : Différenciation des drains principaux de masses d'eau des cours d'eau secondaires. ....	23
Figure 8 : Les différentes contraintes de la couche « body-main » fournie par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne. ....	23
Figure 9 : Méthode d'agrégation des tronçons SYRAH-CE par rangs de Strahler homogène.....	24
Figure 10 : Exemple des différentes situations rencontrées lors de l'attribution d'un code tronçon à un obstacle .....	27

## Table des tableaux

Tableau 1 : table attributaire fictive des ouvrages de la figure 10 après snapping des codes tronçons .....	27
Tableau 2 : Les différences de sélection d'ouvrages et de couche cours d'eau entre indice .....	28
Tableau 3 : Caractéristiques géométriques des tronçons des couches cours d'eau utilisées dans cette méthode .....	42
Tableau 4 : Nombres d'ouvrages captés par indice selon la couche cours d'eau.....	43

## Table des annexes

**Annexe 1** : Méthode de sélection des ouvrages

**Annexe 2** : Détail des médianes de hauteurs de chute :

- Médiane par type, état et Hydro-écorégion
- Médiane par type, état et bassin hydrographique
- Médiane par type et par état à l'échelle nationale

**Annexe 3** : Médianes de hauteurs de chute pour les ouvrages n'ayant qu'une classe ROE correspondant à « supérieure ou égale à 10m»

**Annexe 4** : Détail du script SQL (exemple avec la couche RHT)

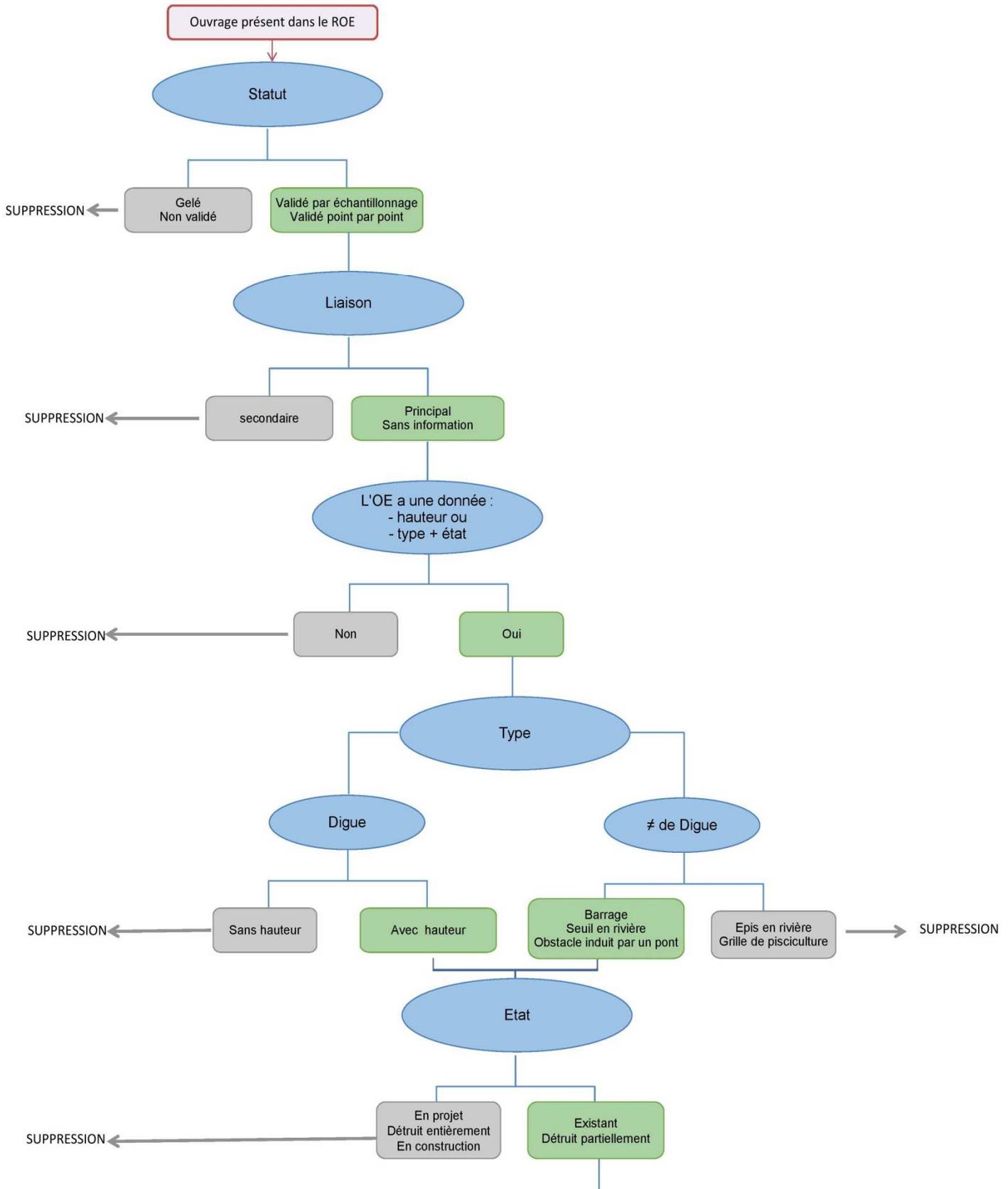
**Annexe 5** : Script SQL pour le calcul des indices avec la couche cours d'eau RHT

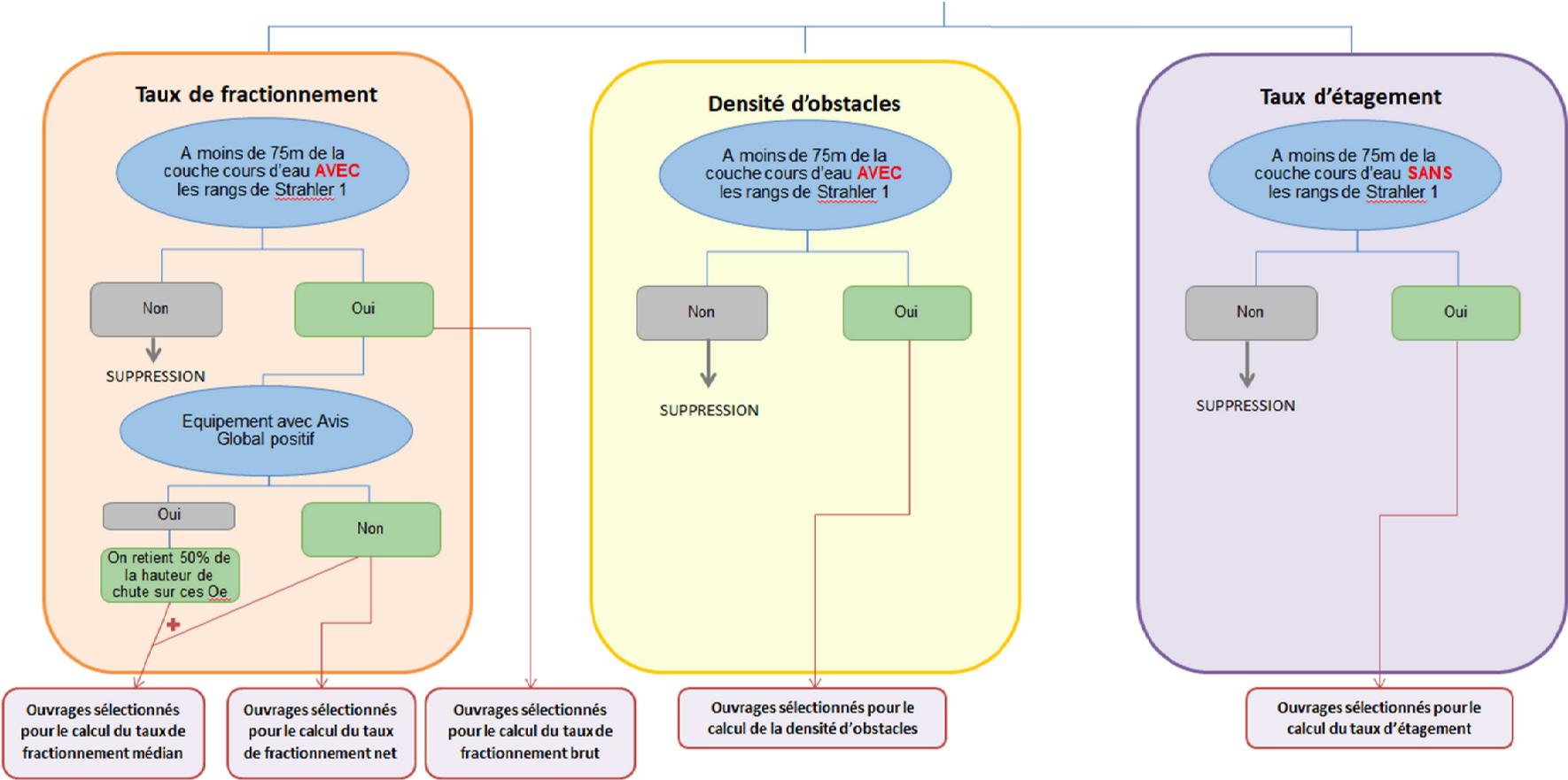
**Annexe 6** : Résultats des indicateurs sur les drains principaux des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne

**Annexe 7** : Répartition des hauteurs de chutes modélisées par le calcul de la médiane

**Annexe 8** : Tableau des hauteurs de chute « aberrantes », remplacées par une hauteur modélisée

## Annexe 1 : Méthode de sélection des ouvrages (1/2)





Pour le paramètre « distance d'un cours d'eau », la différenciation du rang de strahler 1 n'a lieu que pour la méthode nationale.

## Annexe 2 : Détail des médianes de hauteurs de chute

### Médiane par type, état et hydro-écorégion

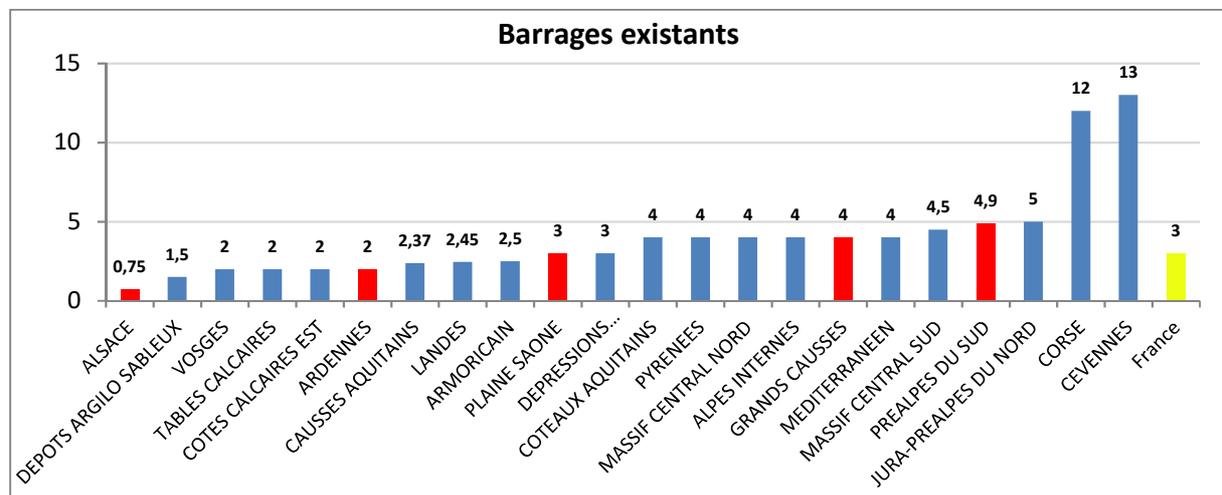
#### - Barrages détruits partiellement

A l'échelle nationale, les barrages détruits partiellement sont au nombre de 129, dont seuls 70 ont une hauteur de chute (54%). Leur répartition sur le territoire français ne permet pas de calculer de médiane fiable à l'échelle des hydro-écorégions ou à l'échelle des bassins hydrographiques (minimum de 30 hauteurs pour calculer une médiane). Pour cette catégorie d'ouvrages, la médiane doit être calculée plus largement sur la base de toutes les données disponibles. Elle est présentée dans la partie « médiane par type, état nationale » à la fin de cette annexe.

#### - Barrages existants

Les barrages existants sont 12 525 sur le territoire français dont seuls 4 200 ont une hauteur de chute (34%). Leur traitement a permis de calculer des médianes de hauteurs fiables pour 17 des 22 catégories réalisées (en bleu sur le graphique ci-dessous). Dans les autres hydro-écorégions les échantillons de hauteurs de chute sont insuffisants pour calculer une médiane fiable (en rouge sur le graphique): Alsace, plaine de Saône, Ardennes, Grands causses, massif central et pré Alpes du sud. La démarche leur attribue une médiane de hauteur de chute dans des étapes suivantes.

**A l'échelle du territoire Français, la médiane des hauteurs de chute des ouvrages existants de type barrage est égale à 3 m.** Les hydro-écorégions de plaine présentent généralement une médiane de hauteur de chute légèrement plus faible que la valeur nationale, tandis que les hydro-écorégion de montagne ont une médiane nettement plus élevée, notamment la Corse et les Cévennes.

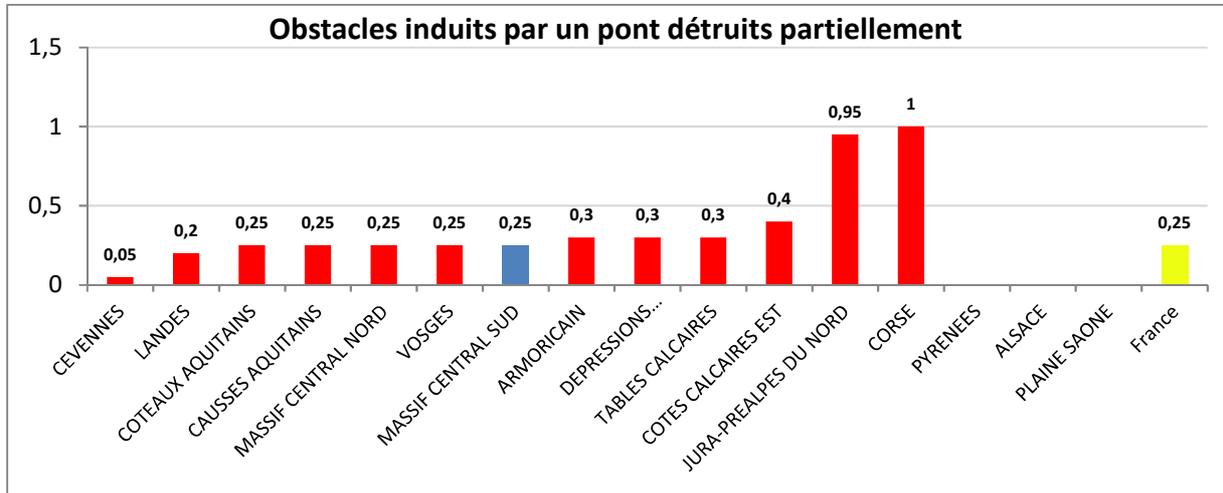


Médiane des hauteurs de chute par hydro-écorégion de type 1 pour les barrages existants.  
En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

#### - Obstacles induits par un pont détruits partiellement

Les obstacles induits par un pont et détruits partiellement sont peu nombreux sur le territoire français (170) mais leur complétude d'information est bonne en termes de hauteur de chute, puisque 73% de ces ouvrages ont l'information. Cependant leur faible nombre ne permet pas d'avoir un minimum de 30 hauteurs de chute renseignées par HER.

Ainsi, seuls les obstacles induits par un pont détruits partiellement du « Massif central sud » ont permis d'obtenir une médiane jugée fiable. Les HER des Pyrénées, d'Alsace et de Plaine de Saône n'ont quant à elles aucune hauteur de chute renseignée pour cette catégorie d'ouvrage. **La médiane nationale des hauteurs de chute des obstacles induits par un pont et détruits partiellement est de 0,25 m**, comme celle du Massif central sud.



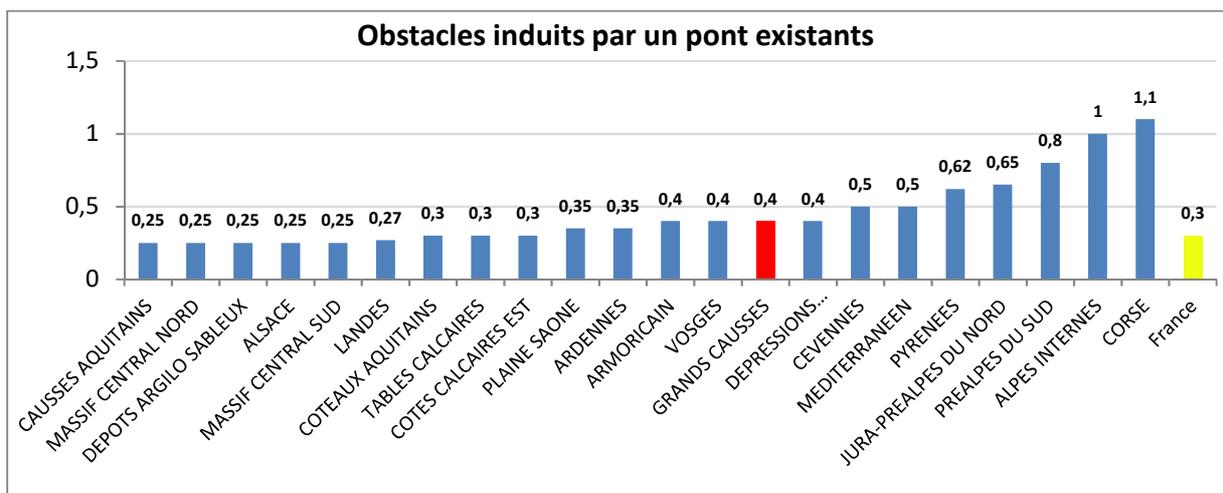
Médiane des hauteurs de chute par hydro-écocoréion de type 1 pour les obstacles induits par un pont détruits partiellement. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

#### - Obstacles induits par un pont existants

Les obstacles induits par un pont existants sont 14700 en France et 9 229 ont une hauteur de chute renseignée (63%). Les hydro-écocoréions ont permis de calculer une médiane fiable pour presque l'ensemble des catégories. Le cas de l'hydro-écocoréion « Grand Causses » n'a pas été décrit car elle n'avait que 22 hauteurs de chute renseignées.

**La médiane française de hauteur de chute des obstacles existant induits par un pont est de 0,3 m.**

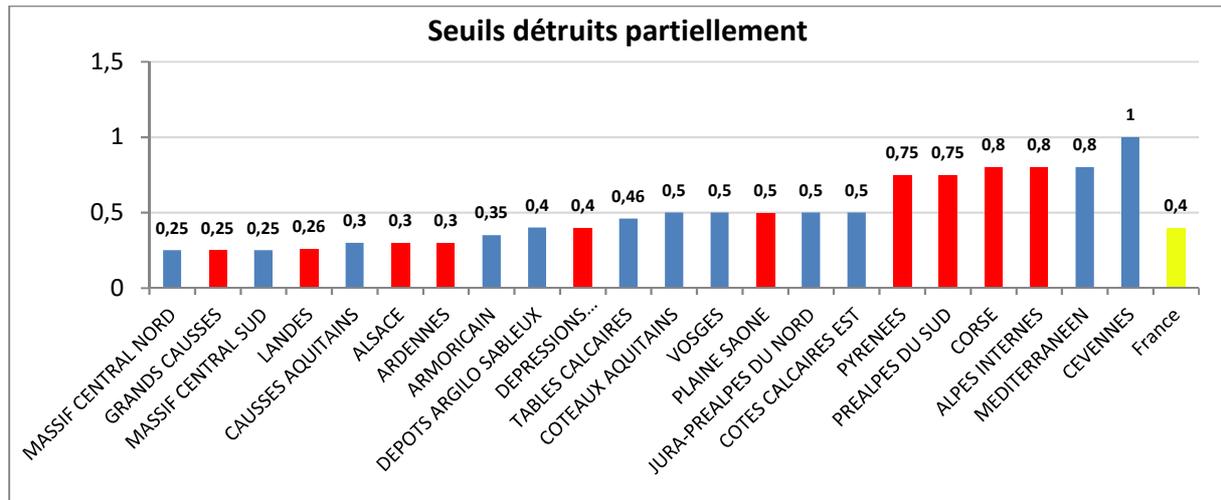
Les médianes par HER se répartissent entre 0,25m et 1,1m. Les hauteurs de chute sont les plus fortes dans les régions montagneuses (Alpes, Corse) tandis que les plus faibles se situent plutôt en plaine.



Médiane des hauteurs de chute par hydro-écocoréion de type 1 pour les obstacles induits par un pont existants. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

### - Seuils détruits partiellement

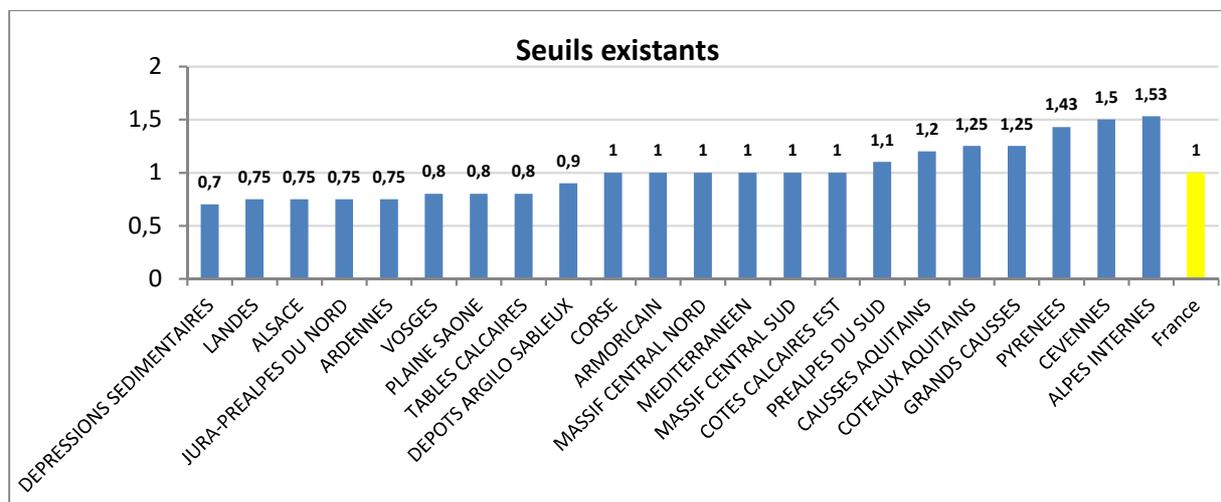
En France, les seuils détruits partiellement sont 3 937 et 3 067 d'entre eux ont une hauteur de chute. Cette complétude de 78% est la plus élevée des combinaisons type / état. Sur les 22 médianes calculées pour les seuils détruits partiellement, 12 sont fiables. Une fois de plus, la dispersion hétérogène de cette combinaison sur le territoire, ne permet pas de calculer des médianes fiables sur l'ensemble des HER. **La médiane nationale des hauteurs de chute des seuils détruits partiellement s'élève à 0,4 m.** Les médianes se distribuent entre 0,25m et 1m. Ce sont en général les HER de montagne qui ont les hauteurs de chute les plus élevées.



Médiane des hauteurs de chute par hydro-écocoréon de type 1 pour les seuils détruits partiellement. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

### - Seuils existants

A l'échelle nationale, les seuils en rivière existants sont au nombre de 44 448, ce qui fait d'eux les ouvrages les plus nombreux de France (58 % des ouvrages retenus pour le calcul d'indice). Ils bénéficient également d'une forte complétude d'information en termes de hauteur de chute. Parmi eux 73% ont une donnée renseignée. L'ensemble des seuils existants donnent une hauteur médiane fiable à l'échelle des HER. Ces médianes se répartissent entre 0,7m et 1,53m. **La médiane nationale de hauteur de chute des seuils existants est de 1m.**



Médiane des hauteurs de chute par hydro-écocoréon de type 1 pour les seuils existants. En bleu, les médianes fiables, en rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

Tableau récapitulatif des médianes de hauteurs par type par état et par hydro-écorégion de type 1.

Type	Etat	Hydro-écorégion	Code HER	Médiane (m)	Nb hauteurs de chutes renseignées	Nb obstacles
Barrage	Détruit partiellement	ALSACE	11	0,25	1	2
		ARMORICAIN	2	0,5	16	22
		VOSGES	12	0,6	4	15
		MASSIF CENTRAL NORD	7	0,75	8	18
		MASSIF CENTRAL SUD	19	0,75	5	6
		ARDENNES	22	0,75	1	1
		COTEAUX AQUITAINS	4	1	6	11
		JURA-PREALPES DU NORD	16	1	4	5
		COTES CALCAIRES EST	21	1,25	10	24
		TABLES CALCAIRES	20	1,5	7	8
		PREALPES DU SUD	9	1,75	1	1
		CEVENNES	14	1,75	1	1
		PYRENEES	5	2,5	2	3
		MEDITERRANEEN	17	2,5	2	4
		ALPES INTERNES	8	4	2	3
		PLAINE SAONE	13	<i>null</i>	0	4
		DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	18	<i>null</i>	0	1
	Existant	ALSACE	11	0,75	4	41
		DEPOTS ARGILLO SABLEUX	10	1,5	128	136
		VOSGES	12	2	92	715
		TABLES CALCAIRES	20	2	523	863
		COTES CALCAIRES EST	21	2	221	1085
		ARDENNES	22	2	23	29
		CAUSSES AQUITAINS	6	2,37	62	106
		LANDES	3	2,45	39	109
		ARMORICAIN	2	2,5	939	1316
		PLAINE SAONE	13	3	8	568
		DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	18	3	111	340
		COTEAUX AQUITAINS	4	4	490	2663
		PYRENEES	5	4	114	253
		MASSIF CENTRAL NORD	7	4	627	2522
		ALPES INTERNES	8	4	144	327
		GRANDS CAUSSES	15	4	4	5
MEDITERRANEEN	17	4	163	424		
MASSIF CENTRAL SUD	19	4,5	245	611		
PREALPES DU SUD	9	4,9	27	109		
JURA-PREALPES DU NORD	16	5	171	216		
CORSE	1	12	30	31		

Type	Etat	Hydro-écorégion	Code HER	Médiane (m)	Nb hauteurs de chutes renseignées	Nb obstacles
Obstacle induit par un pont	Détruit partiellement	CEVENNES	14	0,05	2	2
		LANDES	3	0,2	3	5
		COTEAUX AQUITAINS	4	0,25	15	16
		CAUSSES AQUITAINS	6	0,25	1	1
		MASSIF CENTRAL NORD	7	0,25	14	19
		VOSGES	12	0,25	1	10
		MASSIF CENTRAL SUD	19	0,25	32	35
		ARMORICAIN	2	0,3	19	24
		DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	18	0,3	2	2
		TABLES CALCAIRES	20	0,3	19	24
		COTES CALCAIRES EST	21	0,4	4	9
		JURA-PREALPES DU NORD	16	0,95	9	13
		CORSE	1	1	3	3
		PYRENEES	5	<i>null</i>	0	1
		ALSACE	11	<i>null</i>	0	5
		PLAINE SAONE	13	<i>null</i>	0	1
	Existant	CAUSSES AQUITAINS	6	0,25	88	107
		MASSIF CENTRAL NORD	7	0,25	942	1238
		DEPOTS ARGILLO SABLEUX	10	0,25	132	140
		ALSACE	11	0,25	83	489
		MASSIF CENTRAL SUD	19	0,25	1768	1956
		LANDES	3	0,27	153	191
		COTEAUX AQUITAINS	4	0,3	622	754
		TABLES CALCAIRES	20	0,3	1292	1943
		COTES CALCAIRES EST	21	0,3	511	2503
		PLAINE SAONE	13	0,35	76	153
		ARDENNES	22	0,35	30	171
		ARMORICAIN	2	0,4	1085	1267
		VOSGES	12	0,4	342	843
		GRANDS CAUSSES	15	0,4	22	28
		DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	18	0,4	177	208
		CEVENNES	14	0,5	133	151
MEDITERRANEEN	17	0,5	356	513		
PYRENEES	5	0,62	115	185		
JURA-PREALPES DU NORD	16	0,65	1085	1503		
PREALPES DU SUD	9	0,8	92	207		
ALPES INTERNES	8	1	86	111		
CORSE	1	1,1	39	39		

Type	Etat	Hydro-écorégion	Code HER	Médiane (m)	Nb hauteurs de chutes renseignées	Nb obstacles
Seuil en rivière	Détruit partiellement	MASSIF CENTRAL NORD	7	0,25	201	258
		GRANDS CAUSSES	15	0,25	2	3
		MASSIF CENTRAL SUD	19	0,25	399	426
		LANDES	3	0,26	12	19
		CAUSSES AQUITAINS	6	0,3	76	90
		ALSACE	11	0,3	16	46
		ARDENNES	22	0,3	6	7
		ARMORICAIN	2	0,35	406	481
		DEPOTS ARGILLO SABLEUX	10	0,4	50	57
		DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	18	0,4	17	22
		TABLES CALCAIRES	20	0,46	1277	1499
		COTEAUX AQUITAINS	4	0,5	147	203
		VOSGES	12	0,5	63	123
		PLAINE SAONE	13	0,5	24	53
		JURA-PREALPES DU NORD	16	0,5	74	111
		COTES CALCAIRES EST	21	0,5	147	332
		PYRENEES	5	0,75	29	43
		PREALPES DU SUD	9	0,75	4	13
		CORSE	1	0,8	11	12
		ALPES INTERNES	8	0,8	10	19
	MEDITERRANEEN	17	0,8	38	53	
	CEVENNES	14	1	58	67	
	Existant	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	18	0,7	403	534
		LANDES	3	0,75	211	314
		ALSACE	11	0,75	609	1145
		JURA-PREALPES DU NORD	16	0,75	3060	3717
		ARDENNES	22	0,75	75	100
		VOSGES	12	0,8	1055	2032
		PLAINE SAONE	13	0,8	490	1124
		TABLES CALCAIRES	20	0,8	8490	10785
		DEPOTS ARGILLO SABLEUX	10	0,9	513	614
		CORSE	1	1	156	161
		ARMORICAIN	2	1	3189	3807
MASSIF CENTRAL NORD		7	1	1475	2009	
MEDITERRANEEN		17	1	1660	2321	
MASSIF CENTRAL SUD	19	1	4158	4708		
COTES CALCAIRES EST	21	1	1663	3573		
PREALPES DU SUD	9	1,1	224	525		
CAUSSES AQUITAINS	6	1,2	551	634		
COTEAUX AQUITAINS	4	1,25	2125	2824		
GRANDS CAUSSES	15	1,25	304	356		
PYRENEES	5	1,43	705	1194		
CEVENNES	14	1,5	1084	1312		
ALPES INTERNES	8	1,53	453	659		

## Médiane par type, état et bassin hydrographique

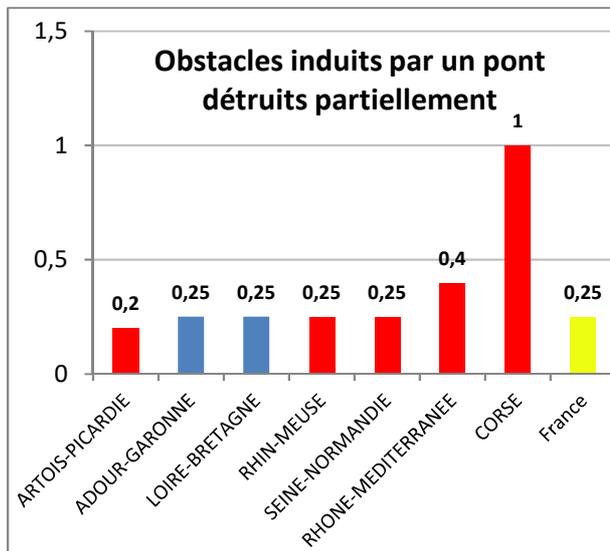
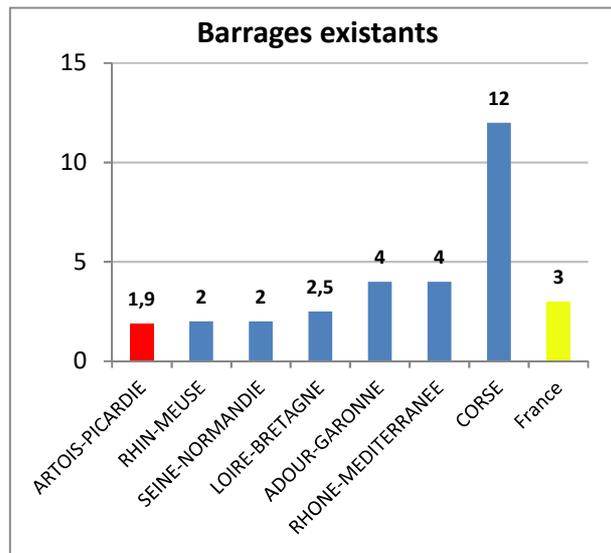
Dans cette partie, les médianes de hauteurs de chute calculées par type et par état sont étudiées à l'échelle des bassins versants. Ces médianes sont utilisées dans le cas où les ouvrages sans donnée hauteur de chute ne peuvent bénéficier de valeurs médianes calculées à l'échelle des HER (catégories en rouge sur les graphiques précédents).

Rappelons que pour cette partie, les barrages détruits partiellement ne sont pas traités car aucune médiane n'a pu être réalisée avec au moins 30 hauteurs de chute. Elles sont donc jugées non fiable.

### - Barrages existants

A l'échelle des bassins hydrographiques, seul le bassin Artois-Picardie n'a pas permis d'obtenir une médiane fiable. La médiane nationale est de 3 m. La variabilité selon les bassins est élevée. La médiane la plus faible est 2m (Rhin-Meuse et Seine-Normandie) et la plus haute s'élève à 12 m (Corse).

Ci-contre : Médiane des hauteurs de chute par bassin hydrographique pour les barrages existants. En bleu, les médianes fiables, un rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.



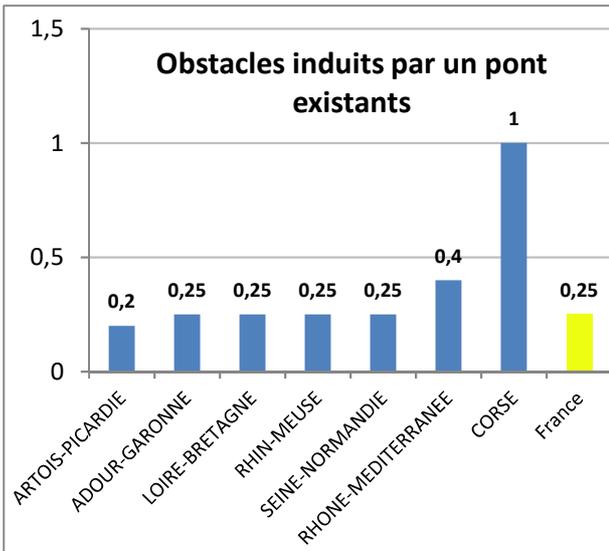
### Obstacles induits par un pont détruits partiellement

De manière générale, les obstacles induits par un pont détruits partiellement sont peu nombreux. La part de médianes non calculées est donc important (sauf dans les bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne). Ces deux médianes sont identiques à la médiane nationale (0,25m).

Ci-contre : Médiane des hauteurs de chute par bassin hydrographique pour les obstacles induits par un pont détruits partiellement. En bleu, les médianes fiables, un rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

- **Obstacles induits par un pont existants**

L'ensemble des catégories d'obstacles induits par un pont existants ont permis d'obtenir une médiane de hauteur de chute fiable. La médiane de hauteur à l'échelle de la France est de 0,25m. La valeur la plus élevée est celle de la Corse avec 1m et la plus faible est à 0,2m pour le bassin Artois-Picardie.



Ci-contre : Médiane des hauteurs de chute par bassin hydrographique pour les obstacles induits par un pont existants. En bleu, les médianes fiables, un rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

- **Seuils détruits partiellement**

Pour cette sélection, seules les données de la Corse n'ont pas permis d'obtenir une médiane fiable. Les seuils détruits partiellement ont une médiane nationale de 0,4 m de hauteur, la plus faible est 0,3m (Loire-Bretagne) et la plus forte est 0,7m (Rhône-Méditerranée).

- **Seuils existants**

L'ensemble des médianes calculées pour les seuils existants peut être utilisé (fiabilité suffisante). La variabilité dans cette catégorie est faible. **Les extrêmes sont les suivants : 0,8m (Artois-Picardie et Loire-Bretagne) et 1,13 m (Adour-Garonne) pour une médiane nationale égale à 1m.**

Ci-dessous : Médiane des hauteurs de chute par bassin hydrographique pour les seuils détruits partiellement et existants. En bleu, les médianes fiables, un rouge, les médianes non fiables et en jaune la médiane nationale.

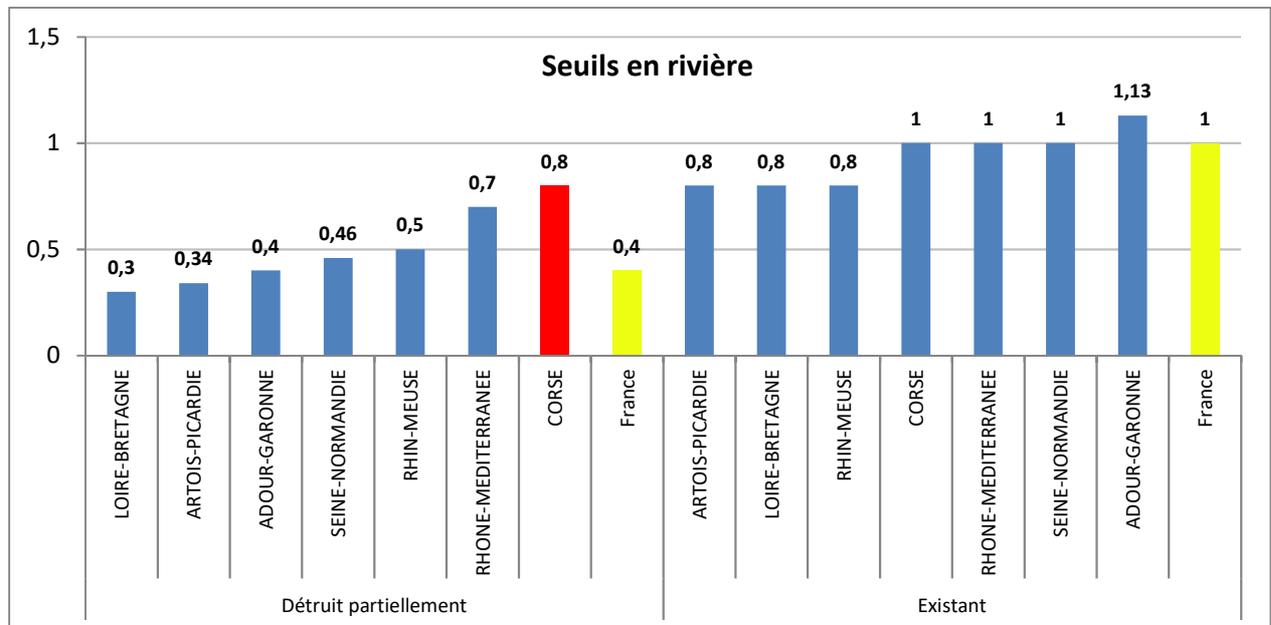


Tableau récapitulatif des médianes de hauteurs par type, par état et par bassin hydrographique :

Type	Etat	Hydro-écorégion	Médiane (m)	Nb hauteur de chute renseignées	Nb d'obstacles	
Barrage	Détruit partiellement	ADOUR-GARONNE	1,75	12	20	
		LOIRE-BRETAGNE	0,75	26	42	
		RHIN-MEUSE	0,75	7	23	
		RHONE-MEDITERRANEE	1,75	14	24	
		SEINE-NORMANDIE	1,5	11	20	
	Existant	ADOUR-GARONNE	4	1011	3863	
		ARTOIS-PICARDIE	1,9	8	13	
		CORSE	12	30	31	
		LOIRE-BRETAGNE	2,5	2031	4491	
		RHIN-MEUSE	2	197	1237	
		RHONE-MEDITERRANEE	4	619	2193	
		SEINE-NORMANDIE	2	304	697	
	Obstacle induit par un pont	Détruit partiellement	ADOUR-GARONNE	0,25	45	51
			ARTOIS-PICARDIE	0,2	2	3
CORSE			1	3	3	
LOIRE-BRETAGNE			0,25	40	46	
RHIN-MEUSE			0,25	2	16	
RHONE-MEDITERRANEE			0,4	15	23	
SEINE-NORMANDIE			0,25	17	28	
Existant		ADOUR-GARONNE	0,25	2309	2667	
		ARTOIS-PICARDIE	0,3	154	180	
		CORSE	1,1	39	39	
		LOIRE-BRETAGNE	0,35	3124	3667	
		RHIN-MEUSE	0,3	675	2678	
		RHONE-MEDITERRANEE	0,6	2148	3793	
		SEINE-NORMANDIE	0,3	780	1676	
Seuil en rivière	Détruit partiellement	ADOUR-GARONNE	0,4	509	615	
		ARTOIS-PICARDIE	0,34	172	196	
		CORSE	0,8	11	12	
		LOIRE-BRETAGNE	0,3	892	1052	
		RHIN-MEUSE	0,5	110	244	
		RHONE-MEDITERRANEE	0,7	241	433	
		SEINE-NORMANDIE	0,46	1132	1385	
	Existant	ADOUR-GARONNE	1,13	6645	8357	
		ARTOIS-PICARDIE	0,8	831	1076	
		CORSE	1	156	161	
		LOIRE-BRETAGNE	0,8	10266	12249	
		RHIN-MEUSE	0,8	2362	4275	
		RHONE-MEDITERRANEE	1	8154	12092	
		SEINE-NORMANDIE	1	4239	6238	

## Médiane par type et par état à l'échelle nationale

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des médianes par type et par état calculées à l'échelle de la France métropolitaine. La différence entre la colonne « Nb d'obstacles » et « Nb hauteur de chute renseignées » est le nombre d'ouvrages auxquels il est nécessaire d'attribuer une médiane de hauteur de chute à partir de l'échantillonnage.

Type	Etat	Médiane (m)	Nb hauteur de chute renseignées	Nb d'obstacles
Barrage	Détruit partiellement	1,18	70	129
	Existant	3	4200	12525
Obstacle induit par un pont	Détruit partiellement	0,25	124	170
	Existant	0,3	9229	14700
Seuil en rivière	Détruit partiellement	0,4	3067	3937
	Existant	1	32653	44448

### Annexe 3 : Médianes de hauteurs de chute pour les ouvrages n'ayant qu'une classe ROE correspondant à « supérieure ou égale à 10m »

Lorsque la dimension d'un ouvrage n'est renseignée qu'à travers la classe ROE « supérieure ou égale à 10 », il a été choisi de lui attribuer la médiane correspondante par type, état et bassin hydrographique. Seuls les obstacles qui correspondent à cette classe hauteur de chute ROE participent à la médiane. Une médiane n'est conservée que lorsqu'elle est calculée avec un minimum de 15 hauteurs de chute. Même en réduisant ainsi la taille minimale de l'échantillon, dans la plupart des cas la plupart la médiane n'a pu être calculée par bassin versant (catégories en rouge dans le tableau récapitulatif ci-dessous). **Il s'agit pourtant des obstacles les plus importants. Une attention particulière doit être portée à ces grands ouvrages en termes de mise en qualité de la donnée, notamment dans le cadre du déploiement de la BDOe (hauteur de chute précise).** Les lignes colorées en vert correspondent aux catégories qui n'ont aucune hauteur de chute manquante, le nombre d'obstacle est le même que le nombre de hauteurs de chute. Les lignes restantes (blanches) correspondent aux médianes utilisées pour le calcul des indices.

Type	Etat	Bassin hydrographique	Médiane (m)	Nb de hauteurs de chute	Nb d'obstacles
Barrage	Détruit partiellement	LOIRE-BRETAGNE	35	1	1
	Existant	ADOUR-GARONNE	16	60	151
		CORSE	28	17	19
		LOIRE-BRETAGNE	17	91	98
		RHIN-MEUSE	24	7	9
		RHONE-MEDITERRANEE	20	113	123
		SEINE-NORMANDIE	20	7	9
			25	4	4
	null	ADOUR-GARONNE	25	1	1
		LOIRE-BRETAGNE	16	1	1
		RHIN-MEUSE	18	3	3
		RHONE-MEDITERRANEE	69,5	3	3
Obstacle induit par un pont	Existant	ADOUR-GARONNE	15	2	3
		LOIRE-BRETAGNE	15	1	1
		RHIN-MEUSE	30	3	5
		RHONE-MEDITERRANEE	20	5	8
Seuil en rivière	Détruit partiellement	ADOUR-GARONNE	10,8	1	1
	Existant	ADOUR-GARONNE	12	3	14
		ARTOIS-PICARDIE	/	0	1
		CORSE	/	0	1
		LOIRE-BRETAGNE	/	0	3
		RHIN-MEUSE	12,3	4	4
		RHONE-MEDITERRANEE	15	13	19
		SEINE-NORMANDIE	30	1	2
			10,33	2	2
	null	LOIRE-BRETAGNE	15	1	1
null	Détruit partiellement	LOIRE-BRETAGNE	20,61	1	2
	Existant	RHIN-MEUSE	12	2	2
		RHONE-MEDITERRANEE	20	1	1
		SEINE-NORMANDIE	25	2	2
	null	LOIRE-BRETAGNE	15	2	11
		RHIN-MEUSE	/	0	1
		RHONE-MEDITERRANEE	12,7	1	1
		SEINE-NORMANDIE	22,3	3	4

Pour le calcul de ces médianes, certains ouvrages peuvent manquer de type ou d'état. En effet, à partir du moment où une donnée hauteur est bancarisée, la méthodologie développée n'exige pas ces informations.

Les données modélisées étant jugées fiables que lorsqu'un minimum de quinze valeurs participe à son calcul, les médianes n'ayant pas cet échantillon minimum ont ensuite été calculées à l'échelle nationale, par type d'ouvrage et par état (tableau ci-dessous). Cependant, même à l'échelle nationale, des médianes sont obtenues avec moins de 15 hauteurs de chute. Par conséquent elles ne sont pas conservées. Pour ces cas douteux la plupart du temps, la médiane par type, état et HER a été retenue, sans prendre compte de la donnée classe ROE>10m.

Type	Etat	Médiane (m)	Nb de hauteurs de chute	Nb d'obstacles
<b>Barrage</b>	Détruit partiellement	35	1	1
	Existant	19,5	299	413
	<i>null</i>	20	8	8
<b>Obstacle induit par un pont</b>	Existant	20	11	17
<b>Seuil en rivière</b>	Détruit partiellement	10,8	1	1
	Existant	14	23	46
	<i>null</i>	15	1	1
<i>null</i>	Détruit partiellement	20,61	1	2
	Existant	25	5	5
	<i>null</i>	22	6	17

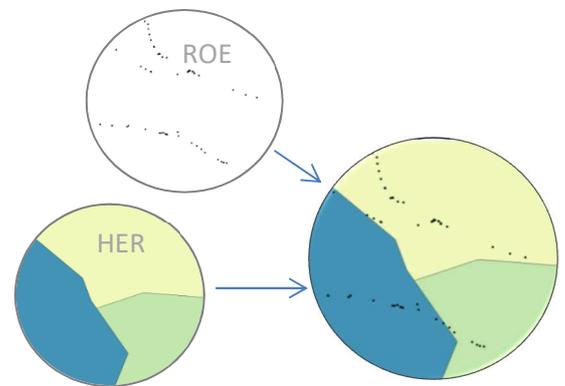
## Annexe 4 : détail du script SQL (exemple avec la couche RHT)

### Explication du script « hauteur »

#### Partie 1 – attribution d’un identifiant hydroécocorégion à chaque ouvrage du ROE

Création de la table **oe\_her\_4326**. L’ensemble des ouvrages du ROE sont croisés spatialement avec les hydro-écocorégions de rang 1 afin de leur attribuer le code de l’hydro-écocorégion dans laquelle il se situe. Cette étape sert par la suite au calcul des médianes de hauteur par hydro-écocorégion. On profite de cette jointure pour collecter toutes les informations contenues dans le ROE qui sont nécessaires au calcul des indices (à savoir la hauteur de chute ice – ref\_hauteur\_chute\_icesmesuree et la classe de hauteur de chute roe – ref\_chce\_id). La table est structurée de la manière suivante :

Nom de la colonne	Contenu
Ref_id	Code ROE
ref_hauteur_chute_icesmesuree	Hauteur de chute ICE
ref_chce_id	Classe de hauteur de chute ROE
ref_position	Geometrie de l’ouvrage
gid	Identifiant HER



*Représentation graphique de l’attribution d’un identifiant hydroécocorégion à chaque ouvrage du roe.*

#### Partie 2 – Agrégation de l’ensemble des informations

Pour cette partie, de nombreuses tables intermédiaires (qui ne sont pas sauvegardées) sont créées pour ensuite être jointes les unes aux autres afin de collecter l’ensemble des informations nécessaires à la sélection des ouvrages, au calcul des indices mais également à l’analyse des résultats. Ces informations seront recensées dans une table finale appelée **pre\_selection**.

##### 1. Création de la table intermédiaire **passee**.

La vue « export\_montaison\_ouvrage » du schéma bdoe du dump, correspond à la ligne « montaison » de l’encadré « mesures correctives » de l’onglet « expertise » de la BDOe sur Geobs. Deux modalités peuvent être cochées : gestion ou équipement. Lorsqu’une modalité est renseignée, cela crée une ligne dans la table « export\_montaison\_ouvrage » avec le code roe et la mesure corrective cochée. Quand les deux mesures correctives sont sélectionnées, il y a deux lignes pour un ouvrage dans la table (une ligne pour gestion, une ligne pour équipement).

La table « passe », ne conserve que l’information « équipement » de la vue « export\_montaison\_passe ». Elle est structurée comme suit :

Nom de la colonne	Contenu
Ouv_id	Code roe
Mcm_libelle	Mesure corrective montaison (ici seuls les « équipement » sont gardés)

2. Création de la table **anguille**.

La vue « export\_expertise\_devalaison » du schéma bdoe du dump correspond à l'encadré « Avis technique dévalaison sur l'ouvrage » de l'onglet « expertise » de la BDOe sur Geobs. Cette table recense pour chaque ouvrage l'avis technique concernant la franchissabilité d'une espèce piscicole. L'avis peut être soit positif, soit négatif. Les espèces piscicoles listées dans ces avis sont les espèces cibles.

Dans la vue « export\_expertise\_devalaison », il y a une ligne par espèce cible et donc parfois, plusieurs lignes par ouvrage. Ici, il a été choisi de ne recueillir que les avis concernant les anguilles. Cette information ne servira pas au calcul des indices mais à une valorisation ultérieure. La table « anguille » est structurée de la manière suivante :

Nom de la colonne	Contenu
Ouv_id	Code roe
Avt_libelle	Avis technique dévalaison (ici seuls ceux correspondant à l'espace

3. Création de la table **atg**.

La table « ouvrage » du schéma bdoe du dump recense différentes informations générales sur les obstacles et certaines expertises. Le champ ouv\_atg\_id correspond à la partie « avis » de l'encadré « avis technique global » de l'onglet « expertise » de la BDOe sur geobs. L'avis est codifié dans le champ ouv\_atg\_id comme suit : positif (1), incertain (2) ou négatif (3).

La table « atg » ne sélectionne pour chaque ouvrage que l'information avis technique global lorsqu'elle existe. Sa structure est la suivante :

Nom de la colonne	Contenu
Ouv_id	Code roe
Ouv_atg_id	Identifiant avis technique général
atg_libelle	Libelle de l'ATG (provient de la table avis_technique_global)

4. Création de la table **selection**.

Cette table intermédiaire fait la jointure entre les tables créées plus tôt et la vue « export\_general » du schéma bdoe du dump. Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des champs ayant participé à la réalisation de la table « selection »

source	table	Champ (contenu)
Schéma bdoe	Export_general	cdbstecou (code ROE) nomprincip (nom) ouv_coord_x ouv_coord_y ouv_type_nom (type) ouv_etat (etat) ouv_liaison (liaison) nom_bassin_hydro (nom bassin hydrographique) ouv_derasement (derasement) ouv_arasement (arasement) ouv_hauteur_chute_1 (hauteur chute roe / bdoe) ouv_date_hauteur_chute_1 (date de la mesure) ouv_usage_energie_hydro (usage énergie hydro) debit_maximal_autorise module_cours_d_eau_irstea lineaire_aval
Schéma roe	Obstacle_referentiel	Ref_position (geometrie en 4326)
	Statut	Sta_nom (statut de l'ouvrage)
Table créée précédemment (partie 1) : schéma hauteur	oe_her_4326	Gid (code HER1) Ref_hauteur_chute_icemesuree (hauteur ice) Ref_chce_id (classe roe)

Tableau excel à ajouter au schéma via hauteur : centre_classe	Moy_classe	Centre de classes roe
Table intermédiaire	anguille	Avt_libelle (Avis technique dévalaison) renommé : ATDev_ang
	atg	Atg_libelle (Avis technique général) renommé : ATG
	passee	Mcm_libelle (équipement) renommé : equipement

La table centre\_classe à ajouter au schéma hauteur est la suivante. Le centre de chaque classe a été calculé afin d'attribuer à chaque ouvrage une hauteur moyenne dans leur classe de hauteur. Pour la classe 9 (supérieure ou égale à 10m), il n'est pas possible de définir le centre de la classe. Cette classe est traitée plus loin dans le script.

ref_hauteur_chute	chce_id	moy_classe
INFERIEURE A 0,5m	2	0,25
DE 0,5m A INFERIEURE A 1m	3	0,75
DE 1m A INFERIEURE A 1,5m	4	1,25
DE 1,5m A INFERIEURE A 2m	5	1,75
DE 2m A INFERIEURE A 3m	6	2,50
DE 3m A INFERIEURE A 5m	7	4,00
DE 5m A INFERIEURE A 10m	8	7,50
SUPERIEURE OU EGALE A 10m	9	NULL

Pour la réalisation de la table « selection », les jointures entre les tables sont, pour la plupart, réalisées en utilisant les codes ROE, qui est leur champ commun. En revanche, pour la table centre\_classe, c'est le champ « chce\_id » qui permet la jointure puisqu'il correspond au champ « ref\_chce\_id » de la table oe\_her\_4326.

5. Création de la table intermédiaire **selec\_statut**.

Cette table reprend l'ensemble des informations contenues dans la table « selection », mais écarte les ouvrages qui n'ont pas un statut « validé », c'est-à-dire les obstacles « Gelé » et « Non validé ».

6. Création de la table intermédiaire **selec\_liaison**.

Cette table reprend la sélection des statuts et introduit une nouvelle condition qui est la liaison. Ici, tous les ouvrages secondaires sont supprimés.

7. Finalisation de la table **pre\_selection**.

Suite à l'enchaînement de toutes ces sélections, la table pre\_selection est finalisée. Cette table comporte l'ensemble des ouvrages du ROE avec le plus d'information possible les concernant.

### **Partie 3 - Sélection de la hauteur de chute la plus fiable**

Les hauteurs de chute peuvent provenir de 4 sources différentes. Leur niveau de fiabilité et de mise à jour dans l'ordre croissant est le suivant : classe ROE < ROE < ICE < BDOe. Pour le calcul des indices, c'est la hauteur de chute disponible la plus fiable et à jour qui est sélectionnée (idéalement la hauteur de chute provenant de la source BDOe).

Afin de faire cette sélection, il est nécessaire de différencier les hauteurs de chute en fonction de leurs sources. Pour cela, la table pre\_selection doit avoir une colonne pour chaque source. Les hauteurs de chute provenant de la source « classe roe » correspondent à la colonne Moy\_classe. Celles provenant d'ICE correspondent à la colonne « Ref\_hauteur\_chute\_icemesuree ». Les hauteurs de chute BDOe et ROE sont mélangées dans la colonne ouv\_hauteur\_chute\_1. Lorsqu'une date est inscrite dans la colonne « ouv\_date\_hauteur\_chute\_1 », cela signifie que la donnée hauteur de la colonne « ouv\_hauteur\_chute\_1 » provient de la source BDOe. S'il n'y a pas de date c'est que la donnée provient du ROE.

1. Deux nouvelles colonnes (DH\_ROE et DH\_BDOE) sont ajoutées à la table pre\_selection. Lorsque la colonne « ouv\_date\_hauteur\_chute\_1 » est remplie, cela signifie que la hauteur provient de la source BDOE, la valeur de la colonne « ouv\_hauteur\_chute\_1 » est donc recopiée dans la colonne DH\_BDOE. Au contraire, lorsque la colonne « ouv\_date\_hauteur\_chute\_1 » n'a pas de date, c'est que la hauteur de chute provient du ROE et la valeur de la colonne « ouv\_hauteur\_chute\_1 » est recopiée dans la colonne DH\_ROE.
2. Une troisième nouvelle colonne appelée hc\_prec est ajoutée à la table pre\_selection. Cette colonne recueille, pour chaque ouvrage, sa hauteur de chute la plus précise.

NB : certains ouvrages n'ont aucune donnée hauteur de chute. Ces ouvrages sont traités dans la partie 6 où une médiane de hauteur par type, par état, et par hydroécocorégion leur est attribuée.

#### **Partie 4 - Suppression des ouvrages ne répondant pas aux critères de sélection**

Une copie de la table pre\_selection appelée **selection\_4326** est réalisée. C'est dans cette seconde table que des suppressions d'ouvrages ne répondant pas aux critères de sélection seront réalisées.

- **Critère 1** : Lorsque la colonne hc\_prec (recueillant la hauteur de chute provenant de la source la plus précise) est vide, alors la méthodologie veut qu'une médiane de hauteur par type, par état et par hydroécocorégion leur soit attribuée. Dans ce cas, il est nécessaire que les ouvrages l'ensemble de informations nécessaires au calcul de cette médiane. Ainsi les ouvrages n'ayant pas de donnée hc\_prec, et pas de type ou d'état sont supprimés.
- **Critère 2** : Seuls les ouvrages transversaux provoquant une hauteur de chute sont gardés dans le calcul des indices de pression. Les épis en rivière et grilles de pisciculture sont supprimés.
- **Critère 3** : Les digues ne sont pas des ouvrages transversaux provoquant une hauteur de chute et devraient, par définition être supprimés comme les épis et grilles de pisciculture. En revanche, certains seuils sont caractérisés comme « digue » à tort dans le ROE. Pour les reconnaître, ce sont des digues qui ont une hauteur de chute. Dans cette étape, les digues ayant une hauteur de chute sont conservées tandis que celles qui n'ont pas de hauteur de chute sont supprimées.
- **Critère 4** : Seuls les ouvrages physiquement présents sont conservés. Les ouvrages ayant un état correspondants à détruit entièrement, en projet ou en construction sont supprimés.
- **Critère 5** : Les ouvrages qui ont une hauteur de chute nulle ou qui sont dérasés sont supprimés car ils n'ont pas d'impacts sur la continuité écologique.
- **Critère 6** : Les ouvrages qui n'ont pas d'informations sur la hauteur de chute (*hc\_prec*), sur l'hydroécocorégion (*gid*) et sur le bassin hydrographique (*nom\_bassin\_hydro*) sont supprimés.
- **Critère 7** : Enfin, les ouvrages situés dans les doms sont supprimés. Ils correspondent aux ouvrages qui n'ont pas d'information à la colonne nom\_bassin\_hydro.

#### **Partie 5 – Gestion des ouvrages dont la hauteur de chute ne convient pas**

1. Dans l'ensemble des hauteurs de chute renseignées dans Geobs, il existe des erreurs dont certaines ont été mise en évidence. En attendant une correction de la part du service territorial concerné, une liste d'ouvrages ayant une hauteur de chute importante et jugée aberrante a été réalisée. L'ouvrage le plus haut connu en France étant le barrage de Tignes avec 160m de hauteur de chute, l'ensemble des ouvrages avec une hauteur supérieure à 160m ont ainsi été sélectionnés. De plus, les ouvrages de plus de 30m dont le type est renseigné comme « seuil en rivière », « obstacle induit par un pont » ou par une valeur nulle sont également pris en compte dans cette sélection.
2. La donnée hauteur est supprimée, l'ouvrage se verra attribué une hauteur de chute médiane par type par état et par hydro-écocorégion.

3. Dans le cas où un ouvrage n'a qu'une donnée hauteur provenant des classes ROE, et que cette classe est celle des « SUPERIEURE OU EGALE A 10m », alors c'est une médiane des hauteurs de chute spécifique qui lui a été attribuée. En effet, dans ce cas, la donnée hauteur n'est pas encadrée, il n'est pas possible d'attribuer un centre de classe.

La médiane des hauteurs de chute est calculée par type, par état et par bassin hydrographique pour l'ensemble des ouvrages ayant une donnée hauteur « SUPERIEURE OU EGALE A 10m » provenant des classes ROE dans la table « **avgbv\_sup10** ». La médiane est jugée fiable lorsqu'elle est calculée avec un minimum de 15 hauteurs de chute.

Dans le cas où elle est calculée avec moins de 15 hauteurs de chute, la médiane est calculée par type et par état à l'échelle nationale dans la table « **avg\_sup10** ».

Les médianes sont attribuées aux ouvrages concernés dans la colonne hc\_prec.

#### **Partie 6 – Création d'une table avec les ouvrages qui ne participent pas au calcul des médianes de hauteur.**

Lorsqu'un ouvrage n'a pas de données hauteur de chute, c'est la médiane par type, état et HER1 qui lui est attribué. Le calcul de la médiane supprime automatiquement les ouvrages qui n'ont pas les trois informations. Afin de conserver les ouvrages qui ont une hauteur de chute mais pas les trois caractéristiques, une table complémentaire est réalisée. Cette table appelée **sans\_her\_type\_etat** est une copie de selection\_4326 dans laquelle ne sont gardés que les ouvrages pour lesquels il manque une information HER1, type ou état mais ont bien une hauteur de chute renseignée. Cette table sera ensuite ajoutée à la table dans laquelle les médianes auront été calculées. Afin que cette dernière opération fonctionne, il faut que les deux tables aient la même structure. Pour cela, deux colonnes sont ajoutées à la table sans\_her\_type\_etat (hc\_her et hc\_bv) dans lesquelles sont recopiées les hauteurs de chute de la colonne hc\_prec.

#### **Partie 7 - Calcul des médianes de hauteur**

1. Création de la table **med\_her\_4326** dans laquelle est attribuée pour chaque ouvrage n'ayant pas de hauteur dans la colonne hc\_prec une hauteur de chute médiane calculée à partir du type, de l'état et de la HER1. Pour cela, les médianes sont calculées dans la table temporaire nommée **medher**. Après cela, les médianes correspondantes sont attribuées aux ouvrages dans une colonne appelée hc\_her. La structure de la table med\_her\_4326 est toujours sensiblement la même que celle de selection\_4326.

NB : une étude sur les médianes de hauteur de chute calculées ci-dessus a été réalisée. Elle est placée en annexe 3 de ce document.

2. Il a été estimé que pour qu'une médiane soit satisfaisante, il faut un minimum de trente hauteurs de chute renseignées par catégorie. Lorsque cette exigence n'est pas respectée, la médiane est alors calculée par type et par état et cette fois par bassin hydrographique dans la table **med\_bv\_4326**. Cette table est une copie de med\_her\_4326 avec la colonne hc\_bv en plus. Dans cette colonne, figure la hauteur de chute disponible la plus précise, à savoir BDOe > ICE > ROE > classe ROE > médiane HER > médiane BV > médiane nationale.

## **Partie 8 – Mise en forme de la donnée**

1. Pour rappel, la table **sans\_her\_type\_etat** a été créée afin de ne pas perdre des données hauteurs correspondant au calcul des médianes. Dès lors que toutes les médianes sont calculées et attribuées aux ouvrages qui n'ont pas de donnée hauteur de chute, cette table peut être jointe à la table **med\_bv\_4326**.
2. Création de la table **haut\_fr\_4326**.

Cette table ne reprend que les informations nécessaires de la table med\_bv\_4326. Les colonnes qui la composent sont les suivantes :

<b>Nom de la colonne</b>	<b>Contenu</b>
cdobstecou	Code ROE
Sta_nom	Statut
Ouv_type_nom	Type
Ouv_etat	Etat
Ouv_liaison	Liaison
Nom_bassin_hydro	Nom du bassin hydrographique
Ref_position	Geometrie en 4326
Hc_bv (renommé : hauteur)	Hauteur de chute la plus précise
Nomprincip	Nom principal de l'ouvrage
Ouv_coord_x	X
Ouv_coord_y	Y
Ouv_derasement	Dérasement
Ouv_arasement	Arasement
Ouv_usage_energie_hydro	Usage hydro-électrique
Atg	Avis technique global
ATDev_ang	Avis technique devalaison anguille
Debit_maximal_autorise	Debit maximal autorisé (m3/s)
Module_cours_d_eau_irstea	Module du cours d'eau au niveau de l'aménagement (m3/s) (Irstea, 2012)
Lineaire_aval	Linéaire de cours d'eau en aval de l'ouvrage (km)
Equipement	Equipement

La table haut\_fr\_4326 donne à tous les ouvrages de France répondants aux critères de sélection présentés plus haut, une hauteur de chute. Cette table peut être réutilisée pour d'autres calculs d'indices, à différentes échelles.

## Explication du script « calcul des indices - RHT »

L'ensemble des tables créées dans cette partie sont sauvegardées dans le schéma rht de la base de données postgres.

### Partie 1 : Snapping des ouvrages du roe sur la couche cours d'eau RHT

- 1- Création d'un index des géométries des tronçons de la couche cours d'eau RHT pour optimiser le temps de calcul des futures opérations.
- 2- Création de la table des points snappés (**roe\_snaped\_rht**). Cette table recense pour chaque ouvrage du roe, le ou les tronçons de cours d'eau à moins de 75m. Chaque snapping fait l'objet d'une ligne. Un ouvrage peut donc apparaître plusieurs fois si plusieurs tronçons de cours d'eau sont situés dans un rayon de moins de 70m de lui. En effet, plusieurs cours d'eau peuvent être snappés pour un ouvrage. Pour cette étape, il est possible qu'il y ait plusieurs lignes pour un même ouvrage. Les points snappés sont ceux du roe car leur geometry est en 27572, tout comme la couche cours d'eau RHT. Les attributs de la couche haut\_fr\_4326 joints à cette couche dans les étapes de calcul des indices. La table est structurée de la manière suivante :

Nom de la colonne	Contenu
geom	Geometrie des oe
distancesnap	Distance de snapping entre l'oe et le tronçon
Ref_id_national	Code ROE de l'ouvrage
id	Identifiant tronçon
rang	Rang de Strahler du tronçon
serial	Numéro de série de l'opération (clé primaire)

- 3- Suppression des doublons par sélection du distancesnap le plus faible avec la création de la table **roe\_snapeddistinct\_rht**. Si un obstacle apparaît plusieurs fois dans la table, seule la ligne où la distance de snapping entre l'ouvrage et le tronçon est la plus faible est conservée. La structure de la table est la même que pour « roe\_snaped ».

### Partie 2 : Sélection des ouvrages par indice

Une table « ouvrage » est créée pour chaque indice.

- 1- Etagement : la table **OE\_rht\_etg** est créée. Elle reprend l'ensemble des ouvrages de la table **haut\_fr\_4326** mais supprime les ouvrages sur les rangs de Strahler 1 (str=1).
- 2- Fractionnement brut : la table **OE\_rht\_frac\_brut** est créée. Elle reprend l'ensemble des ouvrages de la table **haut\_fr\_4326** par une simple copie de table. On conserve ici les ouvrages qui ont un avis technique positif et un équipement (colonne atg = 'Positif' et colonne equipement = 'Equipement').
- 3- Fractionnement net : la table **OE\_rht\_frac\_net** est créée. Elle reprend l'ensemble des ouvrages de la table **haut\_fr\_4326** mais supprime les ouvrages qui ont un avis technique positif et un équipement (colonne atg = 'Positif' et colonne equipement = 'Equipement').
- 4- Fractionnement médian : la table **OE\_rht\_frac\_median** est créée. Elle reprend l'ensemble des ouvrages de la table **haut\_fr\_4326** mais supprime 50% de la hauteur de chute sur les ouvrages qui ont un avis technique positif et un équipement (colonne atg = 'Positif' et colonne equipement = 'Equipement').
- 5- Densité : création de la table **OE\_rht\_dens**, qui est une simple copie de **haut\_fr\_4326**. On conserve tous les ouvrages.

### Partie 3 : calcul des taux d'étagement

- 1- Création de la table appelée **hdrain\_etg\_27572** qui joint la table des informations ouvrages, à la table des ouvrages snappés et à la table des tronçons RHT

source	Nom du champ	Contenu
OE_rht_etg	Cdobstecou	Code ROE
	Hauteur	Hauteur de chute la plus précise
	Nomprincip	Nom
	Sta_nom	Statut
	Ouv_type_nom	Type
	Ouv_etat	Etat
	Ouv_liaison	Liaison
	Nom_bassin_hydro	Bassin hydrographique
	Ouv_coord_x	X
	Ouv_coord_y	Y
	Ouv_derasement	Dérasement
	Ouv_arasement	Arasement
	Ouv_usage_energie_hydro	Usage hydroélectrique
	atg	Avis technique global
	ATDev_ang	Avis à la dévalaison pour l'Anguille
	debit_maximal_autorise	Débit maximal autorisé
	module_cours_d_eau_irstea	Module du cours d'eau
	lineaire_aval	Linéaire aval
	equipement	Ouvrage équipé d'une passe
	roe_snappeddistinct_rht	geom (renomme geomoe)
idstrseg		Code tronçon rht agrégé
Rht_agrege	Geom (renomme geomseg)	Geometrie tronçon 27572
	idstrseg	Nom du tronçon rht
	denivele	denivele
	longueurdp	Longueur du tronçon rht
	str	Rang de Strahler du tronçon

- 2- Création de la table **sum\_hdrain\_etg\_27572**. Cette table calcule la somme des hauteurs de chute et le nombre d'ouvrage par tronçon. La couche passe alors de ponctuelle à linéaire.
- 3- Pour finir, une table appelée **tx\_etg\_rht\_072020\_27572** donne le résultat du calcul du taux d'étagement. La table est structurée de la manière suivante. Toutes les données proviennent de la table **sum\_hdrain\_TE\_27572**.

Nom colonne	Contenu
idstrseg	Code tronçon rht agrégé
str	Rang de Strahler du tronçon
sum_hchute	Somme des hauteurs de chute sur le tronçon
nb_oe	Nombre d'ouvrage sur le tronçon
denivele	Denivele du tronçon
geomseg	Geometrie du tronçon
tx_etag	Taux d'étagement calculé

Le code du calcul du taux d'étagement (tx\_etag) correspond à :

Quand la colonne sum\_hchute n'est pas nulle, et quand la colonne dénivelée est supérieure à 0,1m alors le calcul suivant est réalisé :  $\text{sum\_hchute} / \text{denivele}$ . Un arrondi à 3 décimales est réalisé.

#### **Partie 4 : calcul des 3 taux de fractionnement**

- 1- Comme pour le taux d'étagement, création d'une table pour chaque taux de fractionnement calculé (appelée **hdrain\_frac\_net\_27572**, **hdrain\_frac\_brut\_27572**, **hdrain\_frac\_median\_27572**. Ces 3 tables ont la même composition que **hdrain\_etg\_27572**, c'est le nombre d'ouvrage qui varie.
- 2- Création de 3 tables (une pour chaque calcul du taux de fractionnement) pour les calculs des sommes des hauteurs de chute ainsi que le nombre d'ouvrage par tronçon (**sum\_hdrain\_frac\_net\_27572**, **sum\_hdrain\_frac\_brut\_27572**, **sum\_hdrain\_frac\_median\_27572**).
- 3- Pour finir, les 3 tables **tx\_frac\_net\_rht\_072020\_27572**, **tx\_frac\_brut\_rht\_072020\_27572**, **tx\_frac\_median\_rht\_072020\_27572** donnent les résultats du calcul suivant (colonne **tx\_frac\_net**, **tx\_frac\_brut** ou **tx\_frac\_median**):  
Quand la colonne **sum\_hchute** n'est pas nulle et que la longueur du tronçon est supérieure à zéro, alors la somme des hauteurs chute par tronçon (**sum\_hchute**) est divisée par la longueur du tronçon (**longueurdp**), ce qui correspond au taux de fractionnement.

#### **Partie 5 : calcul de la densité**

- 1- Comme pour les autres indices calculés, création d'une table appelée **hdrain\_densite\_27572**.
- 2- La table **sum\_hdrain\_dens\_27572** donne la somme des hauteurs de chute ainsi que le nombre d'ouvrage par tronçon.
- 3- Pour finir, la table **dens\_rht\_072020\_27572** donne le résultat du calcul suivant dans la colonne « densite »: nombre d'ouvrages par tronçon **rht** (**nb\_oe**) divisée par la longueur du tronçon (**longueurdp**), ce qui correspond à la densité d'obstacle.

## Annexe 5 : Script SQL pour le calcul des indices avec la couche cours d'eau RHT

### ----- SELECTION DES OUVRAGES A L'ECHELLE NATIONALE : PARTIE COMMUNE AUX TROIS COUCHES COURS D'EAU -----

```

/* PARTIE 1 : ATTRIBUTION D'UN CODE HYDROECOREGION A CHAQUE OE DU ROE (intersects spatial) ->
en entrée, besoin de deux tables : HER1_4326 et centre_classe
--1.1 créer une table où sont croisées les positions des OE et les hydroécorégions grâce à la
fonction st_intersects
--(on en profite pour prendre les informations hauteur de chute ice et classe hauteur de chute
roe qui seront nécessaires pour la suite.
SYSTEME DE COORDONNEES 4326 (WGS 84) */
create schema hauteur;
create table hauteur.oe_her_4326 as select distinct
obstacle_referentiel.ref_id, -- code ROE
obstacle_referentiel.ref_hauteur_chute_icemesuree, -- hauteur de chute ICE
obstacle_referentiel.ref_chce_id, -- classe hauteur de chute roe
obstacle_referentiel.ref_position,-- ref obstacle 4326
"HER1_4326".gid -- 4326 code hydroecoregion (pas besoin des coordonnées HER juste du nom
attribué)
from
hauteur."HER1_4326",
roe.obstacle_referentiel
where
ST_intersects (obstacle_referentiel.ref_position,"HER1_4326"."geom")
group by
"HER1_4326"."geom",
"HER1_4326"."gid",
obstacle_referentiel.ref_id,
obstacle_referentiel.ref_position
order by
ref_position;

```

```

-----
/* PARTIE 2 : SELECTION DES OUVRAGES A L'ECHELLE NATIONALE
-- 2.1 jointures entre table pour avoir toutes les informations nécessaires au calcul des
indicateurs + cartographies et autre.
Les données sélectionnées : code ROE, nom principal, geometry de l'oe (4326), x, y, statut,
type, etat, liaison, bassin hydro, derasement, arasement, hydroecoregion associée (table
oe_her_4326),
hauteur de chute bdoe/roe, date bdoe, hauteur ice, classe de hauteur roe, centre classe roe,
avis technique pour l'anguille à la dévalaison, usage hydroélectrique, ATG, débit maximal
autorisé,
module cours d'eau (calculé par irstea), lineaire aval, équipement.
Ne sont gardés que les ouvrages principaux et non renseignés ayant un statut validé. */
create table hauteur.pre_selection as with
passe as (select distinct -- selection des équipements pour la montaison (carte ATG + mesure
RCE + usage énergie)
export_montaison_ouvrage.ouv_id,
export_montaison_ouvrage.mcm_libelle
from bdoe.export_montaison_ouvrage
where mcm_libelle = 'Equipement'),
anguille as (select distinct -- selection des avis techniques à la dévalaison seulement pour
les anguilles (positif ou négatif)
export_expertise_devalaison.ouv_id,
export_expertise_devalaison.avt_libelle
from bdoe.export_expertise_devalaison
where esp_nom_vernaculaire = 'Anguille'),
atg as (select distinct -- selection des ATG
ouvrage.ouv_id,
ouvrage.ouv_atg_id,
avis_technique_global.atg_libelle
from bdoe.ouvrage
FULL JOIN bdoe.avis_technique_global on avis_technique_global.atg_id = ouvrage.ouv_atg_id
where ouv_atg_id is not null),
classe as ( select distinct -- jointure entre centre classe et classe ROE pour éviter les
dérives
obstacle_referentiel.ref_id,
obstacle_referentiel.ref_chce_id,
centre_classe.moy_classe
from
roe.obstacle_referentiel
FULL JOIN hauteur.centre_classe on obstacle_referentiel.ref_chce_id = centre_classe.chce_id
where

```

```

ref_id is not null ),
selection as ( -- jointure entre toutes les informations
SELECT distinct on (cdobstecou)
  export_general.cdobstecou,-- code ROE
  export_general.nomprincip,--nom
  obstacle_referentiel.ref_position, --4326
  export_general.ouv_coord_x,
  export_general.ouv_coord_y,
  statut.sta_nom,-- statut (ne seront gardés que les validés)
  export_general.ouv_type_nom,-- type
  export_general.ouv_etat, --état
  export_general.ouv_liaison, -- liaison (les secondaires sont éliminés)
  export_general.nom_bassin_hydro,-- bassin hydro
  export_general.ouv_derasement,
  export_general.ouv_arasement,
  oe_her_4326.gid, -- code hydroecoregion, servira pour faire les médianess
  export_general.ouv_hauteur_chute_1, -- hauteur de chute roe / bdoe
  export_general.ouv_date_hauteur_chute_1, -- si cette colonne est vide, la donnée est roe, si
elle est remplie, la données est bdoe
  oe_her_4326.ref_hauteur_chute_icemesuree, --hauteur ice
  classe.ref_chce_id, --classe de hauteur roe
  classe.moy_classe,--centre de classe associé à la classe des hauteurs
  anguille.avt_libelle as ATDev_ang,-- avis dévalaison anguille
  export_general.ouv_usage_energie_hydro,--usage énergie hydro
  atg.atg_libelle as ATG,
  export_general.debit_maximal_autorisé,
  export_general.module_cours_d_eau_irstea,
  export_general.lineaire_aval,
  passe.mcm_libelle as equipement
FROM
  bdoe.export_general
FULL JOIN roe.obstacle_referentiel on obstacle_referentiel.ref_id = export_general.cdobstecou
FULL JOIN roe.statut on obstacle_referentiel.ref_sta_id = statut.sta_id
FULL JOIN classe on classe.ref_id = export_general.cdobstecou
FULL JOIN anguille on anguille.ouv_id = export_general.cdobstecou
FULL JOIN hauteur.oe_her_4326 on oe_her_4326.ref_id = export_general.cdobstecou
FULL JOIN atg on atg.ouv_id = export_general.cdobstecou
FULL JOIN passe on passe.ouv_id = export_general.cdobstecou
where cdobstecou IS NOT NULL
order by cdobstecou),
selec_statut as ( -- les ouvrages ne sont gardés que si leur statut est différent de 'non
validé' et de 'gelé', cela revient à sélectionner les validés
select distinct * from selection
where sta_nom <> 'Non validé'
AND sta_nom <> 'Gelé'
AND sta_nom IS NOT NULL ),
selec_liaison as (--depuis cette dernière selection, les ouvrages secondaires sont écartés
select distinct * from selec_statut
where "ouv_liaison" <> 'Secondaire' )
select distinct * from selec_liaison order by nom_bassin_hydro;

-----
/* PARTIE 3 : ATTRIBUTION DE LA HAUTEUR DE CHUTE LA PLUS FIABLE
pour cela, on s'assure d'avoir une colonne par source (bdoe, ice, roe, classe roe)
ice existe déjà : ref_hauteur_chute_icemesuree
classe roe existe déjà, on lui attribué le centre de sa classe : moy_classe
ROE et BDOE sont mélangés dans ouv_hauteur_chute_1. Pour les différencier, on regarde
ouv_date_hauteur_chute_1. Si une date est renseignée c'est BDOe, sinon c'est ROE

-- 3.1 - creation des colonnes hauteur de chute source ROE et source BDOE
-- Si la colonne ouv_date_hauteur_chute_1 est remplie, la donnée ouv_hauteur_chute_1 provient
de bdoe, sinon elle est ROE.
Ici on crée deux nouvelles colonnes où on sépare les données selon ces conditions*/
alter table "hauteur"."pre_selection" ADD DH_BDOe decimal ; -- cration d'une colonne DH_BDOE
de type décimal
UPDATE "hauteur"."pre_selection" SET DH_BDOE = ouv_hauteur_chute_1 where
ouv_date_hauteur_chute_1 IS NOT NULL ; -- s'il y a une valeur dans ouv_date_hauteur_chute_1 on
reprend la données hauteur car cela vient de la BDOE

alter table "hauteur"."pre_selection" ADD DH_ROE decimal ; -- création d'une colonne DH_ROE de
type décimal
UPDATE "hauteur"."pre_selection" SET DH_ROE = ouv_hauteur_chute_1 where
ouv_date_hauteur_chute_1 IS NULL; -- s'il n'y a pas de valeur dans ouv_date_hauteur_chute_1 on
prend la données hauteur car cela vient du ROE

-- 3.2 - création d'une colonne avec la hauteur de chute la plus précise. Dans l'ordre : BDOE
> ICE > ROE > centre des classes ROE

```

```

alter table "hauteur"."pre_selection" ADD hc_prec numeric (10,2); -- création de la colonne
hc_prec qui recevra le résultat de la requête

UPDATE "hauteur"."pre_selection"
SET hc_prec =
CASE
when DH_BDOE is not null then DH_BDOE -- si bdoe n'est pas null, hc_prec = bdoe
when DH_BDOE is null AND "ref_hauteur_chute_icemesuree" is not null then
ref_hauteur_chute_icemesuree -- si bdoe est null mais que ice n'est pas null, hc_prec = ice
when DH_BDOE is null AND "ref_hauteur_chute_icemesuree" is null AND DH_ROE is not null then
DH_ROE -- si bdoe + ice sont null mais que roe n'est pas null, hc_prec = roe
when DH_BDOE is null AND "ref_hauteur_chute_icemesuree" is null AND DH_ROE is null AND
moy_classe is not null then moy_classe -- si bdoe + ice + roe sont null mais que classe roe
n'est pas null, hc_prec = classe roe
else NULL -- si tout est null alors null
end; -- selection de la hauteur de chute la plus précise pour chaque ouvrage

-- 3.3 création d'une nouvelle table dans laquelle on fera des suppression (pre_selection ne
subira pas de suppressions)
create table "hauteur"."selection_4326_med" as select * from hauteur.pre_selection;

-- On supprime :
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where selection_4326_med.hc_prec is null AND
selection_4326_med.ouv_type_nom is null OR selection_4326_med.hc_prec is null AND
selection_4326_med.ouv_etat is null; -- ceux qui n'ont pas de hauteur ni d'état ni de type
(pas de hauteur et on ne pourra pas calculer de moyenne)
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where ouv_type_nom = 'Digue' AND hc_prec is null
OR ouv_type_nom = 'Digue' AND hc_prec = 0; -- les digues qui n'ont pas de hauteur de chute,
celles qui ont une hauteur de chute devront être catégorisées "barrage" ensuite dans le ROE
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where ouv_type_nom = 'Epis en rivière' OR
ouv_type_nom = 'Grille de pisciculture'; -- les oe dont le type ne correspond pas (pas de
hauteur de chute possible)
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where ouv_etat = 'Détruit entièrement' OR ouv_etat
= 'En projet' OR ouv_etat = 'En construction'; -- ceux qui ne sont pas physiquement présent
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where hc_prec = 0; -- Ceux qui ont une chute égale
à 0
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where ouv_derasement = 'true'; -- Ouvrages dérasés
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where hc_prec is null AND gid is null AND
nom_bassin_hydro is null; -- Ceux qui n'ont pas de hauteur de chute, pas d'HER, et pas de BV
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where nom_bassin_hydro = 'NON RENSEIGNE'; --Ceux
avec nom_bassin_hydro = "Non renseigné"

-- gestion des données aberrantes
-- listing des oe dont la donnée est aberrante et va être remplacée par les hauteurs de chute
médianes
UPDATE "hauteur"."selection_4326_med"
SET hc_prec = null
where
hc_prec > 160 or (hc_prec > 30 and ouv_type_nom is null) or (hc_prec > 30 and ouv_type_nom =
'Seuil en rivière') or (hc_prec > 30 and ouv_type_nom = 'Obstacle induit par un pont')

-- (Suppression des données hauteur de chute supérieure à 160m (plus haute chute en France :
barrage de Tignes)
--(Suppression des données hauteurs de chute > 30m pour ouv_type_nom = 'Seuil en rivière',
'Obstacle induit par un pont', 'Null'

-- création d'une colonne hauteur_brute dans laquelle seront conservées les hauteurs de chute
sans le calcul des medianes
alter table "hauteur"."selection_4326_med" ADD hauteur_brute decimal ;
UPDATE "hauteur"."selection_4326_med" SET hauteur_brute = hc_prec ; -- cette colonne ne sera
pas retouchée, mais doit être gardée

-- 3.4 hauteurs de chute pour les oe classe ROE > 10
--échelle BV--
create table "hauteur".medbv_sup10 as
select distinct
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.nom_bassin_hydro,
selection_4326_med.ref_chce_id,
avg("selection_4326_med"."hc_prec") as chutmoy10 , -- calcul de la moyenne des hauteurs de
chute pour les oe dont la classe ROE correspond à >10m
percentile_disc(0.5) WITHIN GROUP (ORDER BY hc_prec)as chutmediane10, -- calcul de la mediane
des hauteurs de chute pour les oe dont la classe ROE correspond à >10m
count ("selection_4326_med"."hc_prec") as nb_H,
count ("selection_4326_med"."cdoestecou") as nb_OE
from hauteur.selection_4326_med

```

```

where
(hc_prec > 10 OR hc_prec is null ) -- ne prend en compte que les OE dont la hauteur de chute
est réellement supérieure à 10m pour que cela concorde avec la classe ROE
AND ref_chce_id = '9'
group by
ouv_type_nom, ouv_etat, nom_bassin_hydro, ref_chce_id
order by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.nom_bassin_hydro;

Delete from "hauteur".medbv_sup10 where ouv_type_nom = 'Seuil en rivière' OR ouv_type_nom
='Obstacle induit par un pont' OR nb_H < 15 ;-- suppression des medianes calculées avec moins
de 15 hauteurs et des medianes de seuil et obs qui ne devraient pas faire plus de 10m, ces oe
auront une mediane par type par état et par HER sas prendre en compte cette donnée classe ROE

--échelle nationale--
create table "hauteur".med_sup10 as -- pour les oe qui n'ont pas obtenu de mediane pendant
l'étape précédente, on recommence mais cette fois à l'échelle nationale
select distinct
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.ref_chce_id,
avg("selection_4326_med"."hc_prec") as chutmoy10 , -- calcul de la moyenne des hauteurs de
chute pour les oe dont la classe ROE correspond à >10m
percentile_disc(0.5) WITHIN GROUP (ORDER BY hc_prec)as chutmediane10, -- calcul de la médiane
des hauteurs de chute pour les oe dont la classe ROE correspond à >10m
count ("selection_4326_med"."hc_prec") as nb_H,
count ("selection_4326_med"."cdobstecou") as nb_OE
from hauteur.selection_4326_med
where
(hc_prec > 10 OR hc_prec is null ) -- ne prend en compte que les OE dont la hauteur de chute
est réellement supérieure à 10m pour que cela concorde avec la classe ROE
AND ref_chce_id = '9'
group by
ouv_type_nom, ouv_etat, ref_chce_id
order by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat;

Delete from "hauteur".med_sup10 where ouv_type_nom = 'Seuil en rivière' OR ouv_type_nom
='Obstacle induit par un pont' OR nb_H < 15 ; -- suppression des medianes calculées avec
moins de 15 hauteurs et des medianes de seuil et obs qui ne devraient pas faire plus de 10m,
ces oe auront une mediane par type par état et par HER sas prendre en compte cette donnée
classe ROE

-- attribution d'une donnée hauteur de chute médiane aux oe qui sont dans la classe ROE >10m à
l'échelle BV
UPDATE "hauteur"."selection_4326_med"
SET hc_prec = medbv_sup10.chutmediane10
from hauteur.medbv_sup10
where "selection_4326_med"."hc_prec" is null
AND selection_4326_med.ref_chce_id = '9'
AND "selection_4326_med"."ouv_type_nom" = medbv_sup10.ouv_type_nom
AND "selection_4326_med"."nom_bassin_hydro" = medbv_sup10.nom_bassin_hydro
AND selection_4326_med.ouv_etat = medbv_sup10.ouv_etat ;

-- attribution d'une donnée hauteur de chute médiane aux oe qui sont dans la classe ROE >10m à
l'échelle nationale
UPDATE "hauteur"."selection_4326_med"
SET hc_prec = med_sup10.chutmediane10
from hauteur.med_sup10
where "selection_4326_med"."hc_prec" is null
AND selection_4326_med.ref_chce_id = '9'
AND "selection_4326_med"."ouv_type_nom" = med_sup10.ouv_type_nom
AND selection_4326_med.ouv_etat = med_sup10.ouv_etat ;

-- les oe qui ont une hauteur de chute issue des médianes effectuées précédemment ne doivent
pas figurer dans le calcul des médianes de l'étape 3.5. Il faut donc les sélectionner et les
mettre dans la table "hauteur"."sans_her_type_etat" qui sera refusionnée après la réalisation
des médianes
-- 3.5 créer une table pour garder les oe qui n'ont soit : pas de type, d'état ou pas de gid
et qui seront supprimés dans le calcul des medianes. Ces oe seront ensuite rajouté à la table
avec les medianes. Cette manip évite de les perdre

create table "hauteur"."sans_her_type_etat_med" as select distinct * from
"hauteur"."selection_4326_med"

```

```

where gid is null
or ouv_etat is null
or ouv_type_nom is null
or (ref_chce_id = '9'
AND (hc_prec <> dh_roe or dh_roe is null)
AND (hc_prec <> dh_bdoe or dh_bdoe is null)
AND (hc_prec <> ref_hauteur_chute_icemesuree or ref_hauteur_chute_icemesuree is null)
and hc_prec is not null)
order by ref_chce_id;

-- les oe qui ne correspondent pas à ces critères auront une mediane de hauteur de chute
attribuée
delete from "hauteur"."sans_her_type_etat_med" where nom_bassin_hydro is null ; -- suppression
des oe dans les dom (486 oe)
delete from "hauteur"."sans_her_type_etat_med" where hc_prec is null ;-- suppression des oe
pour lesquels on a pas de hauteur mais aussi 0 infos pour calculer une mediane (33 oe)
alter table "hauteur"."sans_her_type_etat_med" ADD hc_her decimal ; -- création d'une
colonne hc_her pour avoir la même structure que la table de la mediane pour ensuite faire la
jointure
UPDATE "hauteur"."sans_her_type_etat_med" SET hc_her = hc_prec ; -- cette colonne = hc_prec
alter table "hauteur"."sans_her_type_etat_med" ADD hc_bv decimal ;
UPDATE "hauteur"."sans_her_type_etat_med" SET hc_bv = hc_her;
alter table "hauteur"."sans_her_type_etat_med" ADD hc_fr decimal ;
UPDATE "hauteur"."sans_her_type_etat_med" SET hc_fr = hc_bv;

-- supprimer les oe qui ont été ajoutés à la table tout à l'heure pour qu'ils ne figurent pas
dans les medianes (pour ne prendre en compte des medianes dans les medianes)
delete from "hauteur"."selection_4326_med" where
gid is null
or ouv_etat is null
or ouv_type_nom is null
or (ref_chce_id = '9'
AND (hc_prec <> dh_roe or dh_roe is null)
AND (hc_prec <> dh_bdoe or dh_bdoe is null)
AND (hc_prec <> ref_hauteur_chute_icemesuree or ref_hauteur_chute_icemesuree is null)
and hc_prec is not null) ;

-- 3.6 calcul de la mediane des hauteur par type, par état et par hydroecoregion pour les
ouvrages qui ont un hc_prec = null de la table selection_4326
create table hauteur."med_her_4326" as with
medher as (
SELECT distinct
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.gid,
avg("selection_4326_med"."hc_prec") as chutmoyher,
percentile_disc(0.5) WITHIN GROUP (ORDER BY hc_prec)as chutmedher,
count ("selection_4326_med"."hc_prec") as nb_H,
count ("selection_4326_med"."cdobstecou") as nb_OE
FROM
"hauteur"."selection_4326_med"
group by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.gid
order by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.gid) -- calcul de la mediane par type et par HER
select distinct "selection_4326_med".* , case when "selection_4326_med"."hc_prec" is null AND
medher.nb_H > 30 AND selection_4326_med.gid is not null then medher.chutmedher else
"selection_4326_med"."hc_prec" END -- on estime qu'une mediane est valable quand au moins 30
hauteurs ont participé à son calcul
as hc_her from "hauteur"."selection_4326_med" , medher
where "selection_4326_med"."ouv_type_nom" = medher.ouv_type_nom AND "selection_4326_med"."gid"
= medher.gid AND medher.ouv_etat = selection_4326_med.ouv_etat ;
-- création d'une colonne hc_her où sont recopiées les données de la colonne HC_prec et quand
il n'y a rien on ajoute la médiane calculée plus haut

-- 3.7 calcul de la mediane des hauteurs par type, par état et par BV pour les ouvrages qui
ont une hc_her = null dans la table
create table hauteur."med_bv_4326" as with
medbv as (
SELECT distinct
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.nom_bassin_hydro,

```

```

avg("selection_4326_med"."hc_prec") as chutmoybv,
percentile_disc(0.5) WITHIN GROUP (ORDER BY hc_prec)as chutmedbv,
count ("selection_4326_med"."hc_prec") as nb_H,
count ("selection_4326_med"."cdobstecou") as nb_OE
FROM
"hauteur"."selection_4326_med"
group by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.nom_bassin_hydro
order by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
selection_4326_med.nom_bassin_hydro ) -- calcul de la mediane par type et par BV
select distinct "med_her_4326".* , case when "med_her_4326"."hc_her" is null AND medbv.nb_H >
30 then medbv.chutmedbv else "med_her_4326"."hc_her" END
as hc_bv from "hauteur"."med_her_4326" , medbv
where "med_her_4326"."ouv_type_nom" = medbv.ouv_type_nom AND "med_her_4326"."nom_bassin_hydro"
= medbv.nom_bassin_hydro AND medbv.ouv_etat = med_her_4326.ouv_etat ;

--3.8 calcul de la mediane des hauteurs par type, par état au niveau national
create table hauteur."med_fr_4326" as with
medfr as (
SELECT distinct
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat,
avg("selection_4326_med"."hc_prec") as chutmoyfr,
percentile_disc(0.5) WITHIN GROUP (ORDER BY hc_prec)as chutmedfr,
count ("selection_4326_med"."hc_prec") as nb_H,
count ("selection_4326_med"."cdobstecou") as nb_OE
FROM
"hauteur"."selection_4326_med"
group by
selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat
order by selection_4326_med.ouv_type_nom,
selection_4326_med.ouv_etat ) -- calcul de la mediane par type au niveau national
select distinct "med_bv_4326".* , case when "med_bv_4326"."hc_bv" is null then medfr.chutmedfr
else "med_bv_4326"."hc_bv" END
as hc_fr from "hauteur"."med_bv_4326" , medfr
where "med_bv_4326"."ouv_type_nom" = medfr.ouv_type_nom AND medfr.ouv_etat =
med_bv_4326.ouv_etat ;

-- 3.9 jointure entre les tables sans_her_type_etat et moy_her_4326 pour avoir une table
complète où seront tous les oe qui ont une hauteur

insert into hauteur."med_fr_4326" select * from "hauteur"."sans_her_type_etat_med" ;

-- 3.10 création d'une nouvelle table où on ne garde pas les colonnes qui précisent la source
de la hauteur : ici une seule colonne hauteur appelée 'hauteur'
create table hauteur."haut_fr_4326_med" as select distinct
CONCAT ('ROE',"med_fr_4326".cdobstecou) as cdobstecou, -- ajout de ROE comme préfixe pour les
tables à joindre après
med_fr_4326.sta_nom,
med_fr_4326.ouv_type_nom,
med_fr_4326.ouv_etat,
med_fr_4326.ouv_liaison,
med_fr_4326.nom_bassin_hydro,
med_fr_4326.ref_position, -- 4326
med_fr_4326.hc_fr as hauteur,
med_fr_4326.hauteur_brute,
med_fr_4326.nomprincip,
med_fr_4326.ouv_coord_x,
med_fr_4326.ouv_coord_y,
med_fr_4326.ouv_derasement,
med_fr_4326.ouv_arasement,
med_fr_4326.ouv_usage_energie_hydro,
med_fr_4326.atg,
med_fr_4326.ATDev_ang,
med_fr_4326."debit_maximal_autorisé",
med_fr_4326.module_cours_d'eau_irstea,
med_fr_4326.lineaire_aval,
med_fr_4326.equipement
from hauteur."med_fr_4326";

-- ICI, tous les OE validés ont une hauteur de chute, les résultats peuvent être utilisés pour
calculer les indices sur les différentes couches cours d'eau.

```

-----  
**CALCUL DES INDICES : PARTIE DEPENDANTE DE LA COUCHE COURS D'EAU UTILISEE**  
 -----

--ICI, calcul des indices avec la couche du RHT  
 -----

/\* PARTIE 4 : snapping des oe /\*\*/

CREATE SCHEMA rht --Création schéma 'rht' dans lequel on crée toutes les tables nécessaires au calcul des indicateurs.

--Restaurer rht\_agrege.backup dans schéma RHT  
 -- En entrée, une table : rht\_agrege.shp

--Creation index pour optimisation  
 create index on rht.rht\_agrege using gist(geom);

--creation de la table des points snappés

```
create table rht.roe_snaped_rht
AS
(select st_closestpoint("rht_agrege".geom,obstacle_referentiel.ref_position_l2e) as geom ,
st_distance("rht_agrege".geom,obstacle_referentiel.ref_position_l2e) as distancesnap,
obstacle_referentiel.ref_id_national as ref_id_national ,
"rht_agrege".idstrseg,
id serial --ajouter une clé primaire
FROM rht."rht_agrege", roe.obstacle_referentiel
WHERE st_dwithin("rht_agrege".geom,obstacle_referentiel.ref_position_l2e,75)
ORDER BY distancesnap,obstacle_referentiel.ref_id_national);
```

-----  
 create table rht.roe\_snapeddistinct\_rht -- suppression des doublons par selection du  
 distancesnap le plus faible

```
AS SELECT DISTINCT ON (ref_id_national)
roe_snaped_rht.*
from rht.roe_snaped_rht
order by roe_snaped_rht.ref_id_national,roe_snaped_rht.distancesnap ASC;
```

-----  
 /\* PARTIE 5 : SELECTION DES OE POUR LE TX FRACTIONNEMENT \*/

--Taux de fractionnement net : suppression des oe qui ont une passe à poisson à avis global  
 positif ( atg = 'Positif' ET equipement = 'Equipement') \*/

create table rht.oe\_rht\_frac\_net\_med as -- table taux de fractionnement sans les passe à  
 poisson positives

```
SELECT DISTINCT *
FROM
hauteur."haut_fr_4326_med";
delete from rht.oe_rht_frac_net_med where atg = 'Positif' AND equipement = 'Equipement' ;
```

--Taux de fractionnement brut : même table que OE\_LB\_4326 - Aucune suppression de hauteur de  
 chute - On garde les hauteurs de chute même sur les équipements avec atg positif \*/

create table rht.oe\_rht\_frac\_brut\_med as -- table taux de fractionnement brut

```
SELECT DISTINCT *
FROM
hauteur."haut_fr_4326_med";
```

-- Taux de fractionnement median : on garde 50% de la hauteur de chute sur les oe qui ont une  
 passe à poisson et atg positif ( atg = 'Positif' ET equipement = 'Equipement')\*/

create table rht.oe\_rht\_frac\_median\_med as -- table taux de fractionnement 'median' avec 50%  
 de la hauteur de chute sur oe avec 'equipement' et atg 'positif'

```
SELECT DISTINCT *
FROM hauteur."haut_fr_4326_med";
```

UPDATE rht.oe\_rht\_frac\_median\_med SET hauteur= hauteur\*0.5

WHERE atg = 'Positif' AND equipement = 'Equipement'

-----  
 /\* PARTIE 6 : SELECTION DES OE POUR LA DENSITE = même table que OE\_LB\_4326 \*/

Create table rht.oe\_rht\_dens\_med as

```
SELECT DISTINCT *
FROM
hauteur."haut_fr_4326_med";
-- table oe densité = complète
```

-----  
 /\* PARTIE 7 : SELECTION DES OE POUR LE TX ETAGEMENT\*/

create table rht.oe\_rht\_etg\_med as

```
SELECT DISTINCT *
FROM hauteur."haut_fr_4326_med";-- table tx étagement = complète comme densite
```

```

-----
/* PARTIE 8 : CALCUL DES TAUX D'ETAGEMENT */
-- 8.1 - création d'une table avec code ROE, hauteur, code drain principal rattaché et
denivele du drain. Calcul des sommes de hauteurs de chute par masse d'eau
-- utilisation de la table bodymain de l'agence de l'eau, il y a encore les rangs de sthaler 1
create table rht.hdrain_etg_27572_med as select distinct
  oe_rht_etg_med.cdobstecou,
  oe_rht_etg_med.hauteur,
  oe_rht_etg_med.nomprincip,
  oe_rht_etg_med.sta_nom,
  oe_rht_etg_med.ouv_type_nom,
  oe_rht_etg_med.ouv_etat,
  oe_rht_etg_med.ouv_liaison,
  oe_rht_etg_med.nom_bassin_hydro ,
  oe_rht_etg_med.ouv_coord_x,
  oe_rht_etg_med.ouv_coord_y,
  oe_rht_etg_med.ouv_derasement,
  oe_rht_etg_med.ouv_arasement,
  oe_rht_etg_med.ouv_usage_energie_hydro,
  oe_rht_etg_med.atg,
  oe_rht_etg_med.ATDev_ang,
  oe_rht_etg_med."debit_maximal_authorized",
  oe_rht_etg_med.module_cours_d'eau_irstea,
  oe_rht_etg_med.lineaire_aval,
  oe_rht_etg_med.equipement,
  roe_snapeddinstinct_rht.geom as geomoe,-- jointure de la geometry en 27572 des OE (pas besoin
de reprojeter) en réalité, pas besoin des geom des OE pour le calcul des taux
  roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg,
  rht_agrege.geom as geomseg,
  rht_agrege.denive,
  rht_agrege.longueurdp,
  rht_agrege.str
FROM
  rht.roe_snapeddinstinct_rht
FULL JOIN rht.oe_rht_etg_med on roe_snapeddinstinct_rht.ref_id_national =
  oe_rht_etg_med.cdobstecou
FULL JOIN rht.rht_agrege on roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg = rht_agrege.idstrseg
where cdobstecou is not null AND roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg is not null -- ne garde que
les ouvrages qui ont un code masse d'eau (ceux qui ont été rattachés)
order by idstrseg;

delete from rht.hdrain_etg_27572_med where str = 1; -- supprimer les OE sur rangs de strahler
1, les tronçons n'apparaîtront donc pas

create table rht.sum_hdrain_etg_27572_med as
select distinct hdrain_etg_27572_med.idstrseg,
  hdrain_etg_27572_med.str,
  hdrain_etg_27572_med.longueurdp,
  hdrain_etg_27572_med.denive,
  SUM (hdrain_etg_27572_med.hauteur)as sum_hchute ,
  count (hdrain_etg_27572_med.cdobstecou),
  hdrain_etg_27572_med.geomseg
from rht.hdrain_etg_27572_med
where hdrain_etg_27572_med.idstrseg is not null
group by hdrain_etg_27572_med.idstrseg,
  hdrain_etg_27572_med.str,hdrain_etg_27572_med.denive,hdrain_etg_27572_med.longueurdp,
  hdrain_etg_27572_med.geomseg; -- table code ME, denivelé,somme hauteur, geom

-- 8.2 - calcul des taux d'etagement
create table rht.tx_etg_rht_27572_med as
select distinct
  sum_hdrain_etg_27572_med.idstrseg,
  sum_hdrain_etg_27572_med.str,
  sum_hdrain_etg_27572_med.sum_hchute,
  sum_hdrain_etg_27572_med.count as nb_oe,
  sum_hdrain_etg_27572_med.denive,
  sum_hdrain_etg_27572_med.longueurdp,
  sum_hdrain_etg_27572_med.geomseg,
  case
  When sum_hchute is null THEN null
  When denive < 0.1 THEN null
  ELSE ROUND((sum_hchute / denive),3)-- arrondi à 3 décimales
  END as tx_etag
from rht.sum_hdrain_etg_27572_med;
-----

```

```

create table rht.non_selec_etg_med as select -- on ajoute les linéaires avec str>4 qui n'ont
pas captés d'ouvrages et on attribue un tx_etag=0
rht_agrege.idstrseg,
rht_agrege.str,
sum_hchute,
nb_oe,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.geom as geomseg,
tx_etag
from rht.rht_agrege LEFT join rht.tx_etg_rht_27572_med on rht_agrege.idstrseg =
tx_etg_rht_27572_med.idstrseg where tx_etg_rht_27572_med.idstrseg is null AND rht_agrege.str >
4;
update rht.non_selec_etg_med SET tx_etag = 0;
insert into rht.tx_etg_rht_27572_med select * from rht.non_selec_etg_med;

```

```

-----
/* PARTIE 9 : CALCUL DES TAUX DE FRACTIONNEMENT */

```

```

----9.1 Taux de fractionnement net

```

```

----9.1.1- calcul de la sommes des hauteurs de chute avec les drains principaux taux de
fractionnement

```

```

create table rht.hdrain_frac_net_27572_med as select distinct
oe_rht_frac_net_med.cdobstecou,
oe_rht_frac_net_med.hauteur,
oe_rht_frac_net_med.nomprincip,
oe_rht_frac_net_med.sta_nom,
oe_rht_frac_net_med.ouv_type_nom,
oe_rht_frac_net_med.ouv_etat,
oe_rht_frac_net_med.ouv_liaison,
oe_rht_frac_net_med.nom_bassin_hydro ,
oe_rht_frac_net_med.ouv_coord_x,
oe_rht_frac_net_med.ouv_coord_y,
oe_rht_frac_net_med.ouv_derasement,
oe_rht_frac_net_med.ouv_arasement,
oe_rht_frac_net_med.ouv_usage_energie_hydro,
oe_rht_frac_net_med.atg,
oe_rht_frac_net_med.ATDev_ang,
oe_rht_frac_net_med.debit_maximal_authorized,
oe_rht_frac_net_med.module_cours_d_eau_irstea,
oe_rht_frac_net_med.lineaire_aval,
oe_rht_frac_net_med.equipement,
roe_snapeddinstinct_rht.geom as geomoe,-- jointure de la geometry en 27572 des OE (pas besoin
de reprojeter) en réalité, pas besoin des geom des OE pour le calcul des taux
roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg,
rht_agrege.geom as geomseg,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.str
FROM
rht.roe_snapeddinstinct_rht
FULL JOIN rht.oe_rht_frac_net_med on roe_snapeddinstinct_rht.ref_id_national =
oe_rht_frac_net_med.cdobstecou
FULL JOIN rht.rht_agrege on roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg = rht_agrege.idstrseg
where cdobstecou is not null AND roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg is not null -- ne garde que
les ouvrages qui ont un id (ceux qui ont été rattachés)
order by idstrseg;

```

```

-----
create table rht.sum_hdrain_frac_net_27572_med as
select distinct hdrain_frac_net_27572_med.idstrseg,
hdrain_frac_net_27572_med.str,
hdrain_frac_net_27572_med.longueurdp,
hdrain_frac_net_27572_med.denive,
SUM (hdrain_frac_net_27572_med.hauteur)as sum_hchute ,
count (hdrain_frac_net_27572_med.cdobstecou),
hdrain_frac_net_27572_med.geomseg
from rht.hdrain_frac_net_27572_med
where hdrain_frac_net_27572_med.idstrseg is not null
group by hdrain_frac_net_27572_med.idstrseg,
hdrain_frac_net_27572_med.str,hdrain_frac_net_27572_med.denive,hdrain_frac_net_27572_med.longu
eurdp, hdrain_frac_net_27572_med.geomseg;

```

```

-- 9.1.2 - calcul des taux de fractionnement net
create table rht.tx_frac_net_rht_27572_med as
select distinct

```

```

sum_hdrain_frac_net_27572_med.idstrseg,
sum_hdrain_frac_net_27572_med.str,
sum_hdrain_frac_net_27572_med.sum_hchute,
sum_hdrain_frac_net_27572_med.count as nb_oe,
sum_hdrain_frac_net_27572_med.denive,
sum_hdrain_frac_net_27572_med.longueurdp,
sum_hdrain_frac_net_27572_med.geomseg,
case
When sum_hchute is null THEN null
When longueurdp = 0 THEN null
ELSE sum_hchute/longueurdp
END as tx_frac_net
from rht.sum_hdrain_frac_net_27572_med;

```

```

-----
create table rht.non_selec_frac_net_med as select -- on ajoute les linéaires avec str>4 qui
n'ont pas captés d'ouvrages et on attribue un tx_frac_net=0
rht_agrege.idstrseg,
rht_agrege.str,
sum_hchute,
nb_oe,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.geom as geomseg,
tx_frac_net
from rht.rht_agrege LEFT join rht.tx_frac_net_rht_27572_med on rht_agrege.idstrseg =
tx_frac_net_rht_27572_med.idstrseg where tx_frac_net_rht_27572_med.idstrseg is null AND
rht_agrege.str > 4;
update rht.non_selec_frac_net_med SET tx_frac_net = 0;
insert into rht.tx_frac_net_rht_27572_med select * from rht.non_selec_frac_net_med;

```

```

-----
--9.2 Taux de fractionnement brut

```

```

--9.2.1- calcul de la sommes des hauteurs de chute avec les drains principaux taux de
fractionnement */

```

```

create table rht.hdrain_frac_brut_27572_med as select distinct
oe_rht_frac_brut_med.cdobstecou,
oe_rht_frac_brut_med.hauteur,
oe_rht_frac_brut_med.nomprincip,
oe_rht_frac_brut_med.sta_nom,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_type_nom,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_etat,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_liaison,
oe_rht_frac_brut_med.nom_bassin_hydro ,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_coord_x,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_coord_y,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_derasement,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_arasement,
oe_rht_frac_brut_med.ouv_usage_energie_hydro,
oe_rht_frac_brut_med.atg,
oe_rht_frac_brut_med.ATDev_ang,
oe_rht_frac_brut_med.debit_maximal_authorized,
oe_rht_frac_brut_med.module_cours_d'eau_irstea,
oe_rht_frac_brut_med.lineaire_aval,
oe_rht_frac_brut_med.equipement,
roe_snapeddinstinct_rht.geom as geomoe,-- jointure de la geometry en 27572 des OE (pas besoin
de reprojeter) en réalité, pas besoin des geom des OE pour le calcul des taux
roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg,
rht_agrege.geom as geomseg,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.str
FROM
rht.roe_snapeddinstinct_rht
FULL JOIN rht.oe_rht_frac_brut_med on roe_snapeddinstinct_rht.ref_id_national =
oe_rht_frac_brut_med.cdobstecou
FULL JOIN rht.rht_agrege on roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg = rht_agrege.idstrseg
where cdobstecou is not null AND roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg is not null -- ne garde que
les ouvrages qui ont un id (ceux qui ont été rattachés)
order by idstrseg;

```

```

-----
create table rht.sum_hdrain_frac_brut_27572_med as
select distinct hdrain_frac_brut_27572_med.idstrseg,
hdrain_frac_brut_27572_med.str,
hdrain_frac_brut_27572_med.longueurdp,

```

```

hdrain_frac_brut_27572_med.denive,
SUM (hdrain_frac_brut_27572_med.hauteur)as sum_hchute ,
count (hdrain_frac_brut_27572_med.cdobstecou),
hdrain_frac_brut_27572_med.geomseg
from rht.hdrain_frac_brut_27572_med
where hdrain_frac_brut_27572_med.idstrseg is not null
group by hdrain_frac_brut_27572_med.idstrseg,
hdrain_frac_brut_27572_med.str,hdrain_frac_brut_27572_med.denive,hdrain_frac_brut_27572_med.lo
ngueurdp, hdrain_frac_brut_27572_med.geomseg;

```

-- 9.2.2 - calcul des taux de fractionnement brut

```

create table rht.tx_frac_brut_rht_27572_med as
select distinct
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.idstrseg,
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.str,
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.sum_hchute,
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.count as nb_oe,
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.denive,
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.longueurdp,
sum_hdrain_frac_brut_27572_med.geomseg,
case
When sum_hchute is null THEN null
When longueurdp = 0 THEN null
ELSE sum_hchute/longueurdp
END as tx_frac_brut
from rht.sum_hdrain_frac_brut_27572_med;

```

-----

create table rht.non\_selec\_frac\_brut\_med as select -- on ajoute les linéaires avec str>4 qui n'ont pas captés d'ouvrages et on attribue un tx\_frac\_brut=0

```

rht_agrege.idstrseg,
rht_agrege.str,
sum_hchute,
nb_oe,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.geom as geomseg,
tx_frac_brut
from rht.rht_agrege LEFT join rht.tx_frac_brut_rht_27572_med on rht_agrege.idstrseg =
tx_frac_brut_rht_27572_med.idstrseg where tx_frac_brut_rht_27572_med.idstrseg is null AND
rht_agrege.str > 4;
update rht.non_selec_frac_brut_med SET tx_frac_brut = 0;
insert into rht.tx_frac_brut_rht_27572_med select * from rht.non_selec_frac_brut_med;

```

-----

--9.3 Taux de fractionnement median \*/

---9.3.1- calcul de la sommes des hauteurs de chute avec les drains principaux taux de fractionnement \*/

```

create table rht.hdrain_frac_median_27572_med as select distinct
oe_rht_frac_median_med.cdobstecou,
oe_rht_frac_median_med.hauteur,
oe_rht_frac_median_med.nomprincip,
oe_rht_frac_median_med.sta_nom,
oe_rht_frac_median_med.ouv_type_nom,
oe_rht_frac_median_med.ouv_etat,
oe_rht_frac_median_med.ouv_liaison,
oe_rht_frac_median_med.nom_bassin_hydro ,
oe_rht_frac_median_med.ouv_coord_x,
oe_rht_frac_median_med.ouv_coord_y,
oe_rht_frac_median_med.ouv_derasement,
oe_rht_frac_median_med.ouv_arasement,
oe_rht_frac_median_med.ouv_usage_energie_hydro,
oe_rht_frac_median_med.atg,
oe_rht_frac_median_med.ATDev_ang,
oe_rht_frac_median_med.debit_maximal_autorisé,
oe_rht_frac_median_med.module_cours_d'eau_irstea,
oe_rht_frac_median_med.lineaire_aval,
oe_rht_frac_median_med.equipement,
roe_snapeddinstinct_rht.geom as geomoe,-- jointure de la geometry en 27572 des OE (pas besoin
de reprojeter) en réalité, pas besoin des geom des OE pour le calcul des taux
roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg,
rht_agrege.geom as geomseg,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.str
FROM

```

```
rht.roe_snapeddinstinct_rht
FULL JOIN rht.oe_rht_frac_median_med on roe_snapeddinstinct_rht.ref_id_national =
oe_rht_frac_median_med.cdobstecou
FULL JOIN rht.rht_agrege on roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg = rht_agrege.idstrseg
where cdobstecou is not null AND roe_snapeddinstinct_rht.idstrseg is not null -- ne garde que
les ouvrages qui ont un id (ceux qui ont été rattachés)
order by idstrseg;
```

```
-----
create table rht.sum_hdrain_frac_median_27572_med as
select distinct hdrain_frac_median_27572_med.idstrseg,
hdrain_frac_median_27572_med.str,
hdrain_frac_median_27572_med.longueurdp,
hdrain_frac_median_27572_med.denive,
SUM (hdrain_frac_median_27572_med.hauteur)as sum_hchute ,
count (hdrain_frac_median_27572_med.cdobstecou),
hdrain_frac_median_27572_med.geomseg
from rht.hdrain_frac_median_27572_med
where hdrain_frac_median_27572_med.idstrseg is not null
group by hdrain_frac_median_27572_med.idstrseg,
hdrain_frac_median_27572_med.str,hdrain_frac_median_27572_med.denive,hdrain_frac_median_27572_
med.longueurdp, hdrain_frac_median_27572_med.geomseg;
```

```
-- 9.3.2 - calcul des taux de fractionnement median
```

```
create table rht.tx_frac_median_rht_27572_med as
select distinct
sum_hdrain_frac_median_27572_med.idstrseg,
sum_hdrain_frac_median_27572_med.str,
sum_hdrain_frac_median_27572_med.sum_hchute,
sum_hdrain_frac_median_27572_med.count as nb_oe,
sum_hdrain_frac_median_27572_med.denive,
sum_hdrain_frac_median_27572_med.longueurdp,
sum_hdrain_frac_median_27572_med.geomseg,
case
When sum_hchute is null THEN null
When longueurdp = 0 THEN null
ELSE sum_hchute/longueurdp
END as tx_frac_median
from rht.sum_hdrain_frac_median_27572_med;
```

```
-----
create table rht.non_selec_frac_median_med as select -- on ajoute les linéaires avec str>4
qui n'ont pas captés d'ouvrages et on attribue un tx_frac_median=0
rht_agrege.idstrseg,
rht_agrege.str,
sum_hchute,
nb_oe,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.geom as geomseg,
tx_frac_median
from rht.rht_agrege LEFT join rht.tx_frac_median_rht_27572_med on rht_agrege.idstrseg =
tx_frac_median_rht_27572_med.idstrseg where tx_frac_median_rht_27572_med.idstrseg is null AND
rht_agrege.str > 4;
update rht.non_selec_frac_median_med SET tx_frac_median = 0;
insert into rht.tx_frac_median_rht_27572_med select * from rht.non_selec_frac_median_med;
```

```
-----
/* partie 10 DENSITE */
```

```
create table rht.hdrain_densite_27572_med as select distinct
oe_rht_dens_med.cdobstecou,
oe_rht_dens_med.hauteur,
oe_rht_dens_med.nomprincip,
oe_rht_dens_med.sta_nom,
oe_rht_dens_med.ouv_type_nom,
oe_rht_dens_med.ouv_etat,
oe_rht_dens_med.ouv_liaison,
oe_rht_dens_med.nom_bassin_hydro ,
oe_rht_dens_med.ouv_coord_x,
oe_rht_dens_med.ouv_coord_y,
oe_rht_dens_med.ouv_derasement,
oe_rht_dens_med.ouv_arasement,
oe_rht_dens_med.ouv_usage_energie_hydro,
oe_rht_dens_med.atg,
oe_rht_dens_med.ATDev_ang,
oe_rht_dens_med."debit_maximal_autorisé",
oe_rht_dens_med.module_cours_d_eau_irstea,
```

```

    oe_rht_dens_med.lineaire_aval,
    oe_rht_dens_med.equipement,
roesnapeddinstinct_rht.geom as geomoe,-- jointure de la geometry en 27572 des OE (pas besoin
de reprojeter) en réalité, pas besoin des geom des OE pour le calcul des taux
roesnapeddinstinct_rht.idstrseg,
rht_agrege.geom as geomseg,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.str
FROM
rht.roesnapeddinstinct_rht
FULL JOIN rht.oe_rht_dens_med on roesnapeddinstinct_rht.ref_id_national =
oe_rht_dens_med.cdobstecou
FULL JOIN rht.rht_agrege on roesnapeddinstinct_rht.idstrseg = rht_agrege.idstrseg
where cdobstecou is not null AND roesnapeddinstinct_rht.idstrseg is not null -- ne garde que
les ouvrages qui ont un id (ceux qui ont été rattachés)
order by idstrseg;
-----
create table rht.sum_hdrain_dens_27572_med as
select distinct hdrain_densite_27572_med.idstrseg,
hdrain_densite_27572_med.str,
hdrain_densite_27572_med.longueurdp,
hdrain_densite_27572_med.denive,
SUM (hdrain_densite_27572_med.hauteur)as sum_hchute ,
count (hdrain_densite_27572_med.cdobstecou),
hdrain_densite_27572_med.geomseg
from rht.hdrain_densite_27572_med
where hdrain_densite_27572_med.idstrseg is not null
group by hdrain_densite_27572_med.idstrseg,
hdrain_densite_27572_med.str,hdrain_densite_27572_med.denive,hdrain_densite_27572_med.longueur
dp, hdrain_densite_27572_med.geomseg;

-- 10.3 - Calcul de la densité
Create table rht.dens_rht_27572_med as
select distinct
sum_hdrain_dens_27572_med.idstrseg,
sum_hdrain_dens_27572_med.str,
sum_hdrain_dens_27572_med.sum_hchute,
sum_hdrain_dens_27572_med.count as nb_oe,
sum_hdrain_dens_27572_med.denive,
sum_hdrain_dens_27572_med.longueurdp,
sum_hdrain_dens_27572_med.geomseg
from rht.sum_hdrain_dens_27572_med;

-- 10.4 - ajout d'une colonne densité
ALTER TABLE rht.dens_rht_27572_med ADD densite numeric;
UPDATE rht.dens_rht_27572_med SET densite =
(nb_oe / longueurdp);

create table rht.non_selec_dens_med as select -- on ajoute les linéaires avec str>4 qui n'ont
pas captés d'ouvrages et on attribue une densité=0
rht_agrege.idstrseg,
rht_agrege.str,
sum_hchute,
nb_oe,
rht_agrege.denive,
rht_agrege.longueurdp,
rht_agrege.geom as geomseg,
densite
from rht.rht_agrege LEFT join rht.dens_rht_27572_med on rht_agrege.idstrseg =
dens_rht_27572_med.idstrseg where dens_rht_27572_med.idstrseg is null AND rht_agrege.str > 4;
update rht.non_selec_dens_med SET densite = 0;
insert into rht.dens_rht_27572_med select * from rht.non_selec_dens_med;

-----
/* partie 11 Attribution des classes pour chaque indicateur */

--11.1 - Ajout d'une colonne pour les classes d'etagement
alter table rht.tx_etg_rht_27572_med ADD classe numeric ;
UPDATE rht.tx_etg_rht_27572_med SET classe =
CASE
When tx_etag > 0.80 then 6
When tx_etag > 0.60 then 5
When tx_etag > 0.40 then 4
When tx_etag > 0.20 then 3
When tx_etag > 0.10 then 2
When tx_etag > 0.00 then 1

```

```
else Null  
end;
```

---

### 11.2 - Ajout d'une colonne pour les classes de fractionnement

```
--Fractionnement net--  
alter table rhet.tx_frac_net_rht_27572_med ADD classe numeric ;  
UPDATE rhet.tx_frac_net_rht_27572_med SET classe =  
CASE  
When tx_frac_net > 0.00080 then 6  
When tx_frac_net > 0.00060 then 5  
When tx_frac_net > 0.00040 then 4  
When tx_frac_net > 0.00020 then 3  
When tx_frac_net > 0.00010 then 2  
When tx_frac_net > 0.00 then 1  
else Null  
end;  
  
--Fractionnement brut--  
alter table rhet.tx_frac_brut_rht_27572_med ADD classe numeric ;  
UPDATE rhet.tx_frac_brut_rht_27572_med SET classe =  
CASE  
When tx_frac_brut > 0.00080 then 6  
When tx_frac_brut > 0.00060 then 5  
When tx_frac_brut > 0.00040 then 4  
When tx_frac_brut > 0.00020 then 3  
When tx_frac_brut > 0.00010 then 2  
When tx_frac_brut > 0.00 then 1  
else Null  
end;  
  
--Fractionnement median--  
alter table rhet.tx_frac_median_rht_27572_med ADD classe numeric ;  
UPDATE rhet.tx_frac_median_rht_27572_med SET classe =  
CASE  
When tx_frac_median > 0.00080 then 6  
When tx_frac_median > 0.00060 then 5  
When tx_frac_median > 0.00040 then 4  
When tx_frac_median > 0.00020 then 3  
When tx_frac_median > 0.00010 then 2  
When tx_frac_median > 0.00 then 1  
else Null  
end;
```

---

### 11.3 - Ajout d'une colonne pour les classes de densite

```
alter table rhet.dens_rht_27572_med ADD classe numeric ;  
UPDATE rhet.dens_rht_27572_med SET classe =  
CASE  
When densite > 0.00066 then 5  
When densite > 0.00025 then 4  
When densite > 0.00015 then 3  
When densite > 0.0001 then 2  
When densite > 0.00 then 1  
else Null  
end ;
```

## Annexe 6 : Résultats des indicateurs sur les drains principaux des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne

Les résultats obtenus sur les Drains principaux des masses d'eau (DPME) correspondent à l'évaluation de la pression « ouvrages » **directement mesurée sur le découpage des masses d'eau**. Ce support adapté au besoin de calcul des indices de pression, masse d'eau par masse d'eau, n'est disponible qu'à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.

Les ouvrages situés sur les masses d'eau plan d'eau ont été supprimés. Le calcul des taux étant conçu pour évaluer la pression « ouvrages » sur les masses d'eau cours d'eau, on écarte ainsi les ouvrages à l'origine des masses d'eau plan d'eau. En veillant à la géolocalisation de ces ouvrages **à l'intérieur des masses d'eau plan d'eau qu'ils génèrent**, cette dissociation permet aussi d'éviter d'intégrer par erreur ces ouvrages structurants dans le calcul des taux des masses d'eau situées en aval (ne pas affecter la hauteur de chute d'un grand barrage à la masse d'eau qu'il délimite à son aval). Pour la cartographie, la couche des masses d'eau plan d'eau est ajoutée à celle des masses d'eau cours d'eau afin de matérialiser la continuité du réseau hydrographique. Ainsi, la présence des grands plans d'eau qui marquent le territoire servent de repères visuels et facilitent la lecture de la carte (masses d'eau complètement étagé).

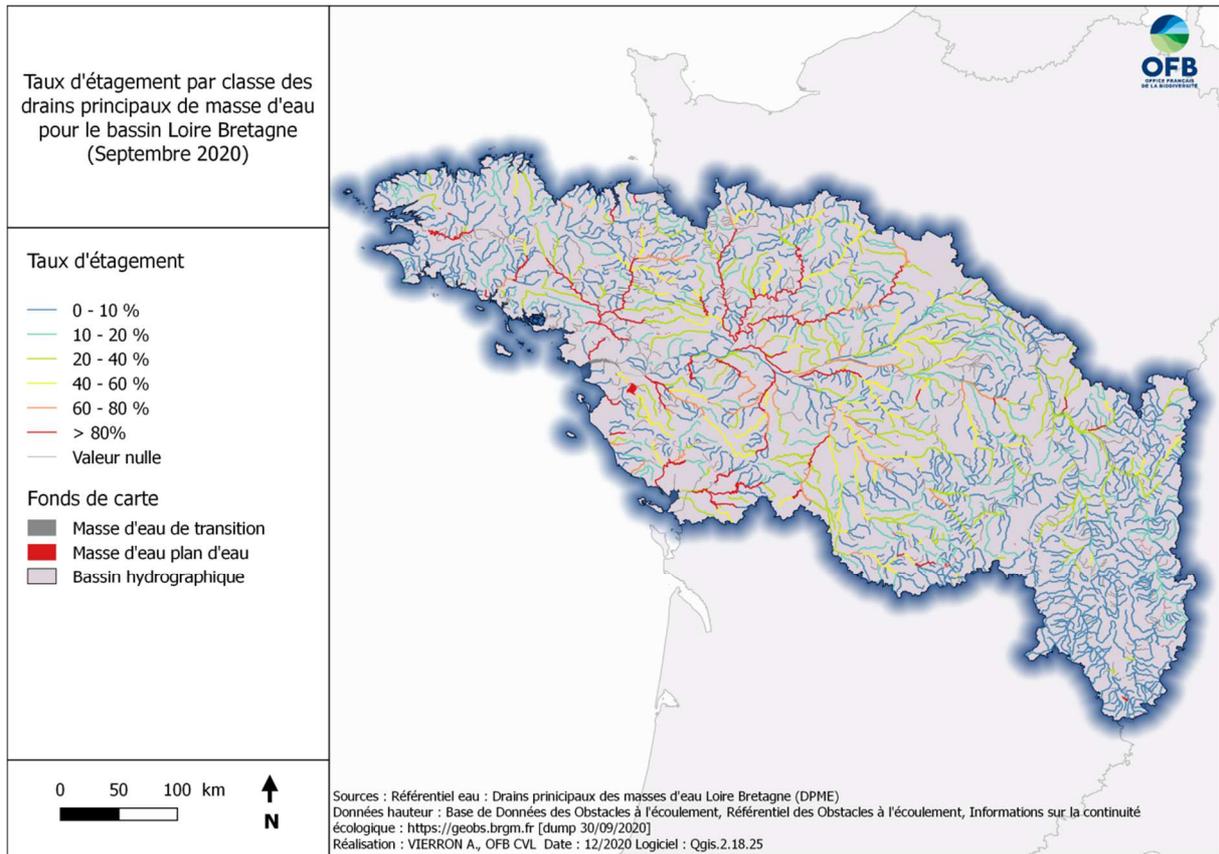
Enfin, contrairement à la recommandation de la fiche de lecture du SDAGE Loire-Bretagne, les rangs de Strahler 1 ne peuvent pas être supprimés pour le calcul du taux d'étagement (distorsion amont) puisque la couche des drains principaux ne possède pas l'attribut rang de Strahler.

### - Taux d'étagement

La cartographie ci-dessous présente les taux d'étagement en 6 classes sur le bassin Loire-Bretagne. Pour cette représentation cartographique, les masses d'eau plan d'eau sont représentées en rouge puisque leur taux d'étagement y est par définition égal à 100%.

Logiquement, les taux d'étagement apparaissent plus faibles en tête de bassin que sur les grands axes. En effet, dans les zones amont, les dénivelés naturels sont généralement plus importants et l'inventaire des ouvrages souvent incomplet.

Les taux d'étagement apparaissent d'autant plus effacés par l'importance du relief en tête de bassin que les rangs de Strahler 1 n'ont pas pu être supprimés sur les drains principaux. Le phénomène est par exemple visible dans le Morvan où le ROE a pourtant fait l'objet d'un effort de complétude important.



Taux d'étagement par classe des drains principaux de masse d'eau pour le bassin Loire-Bretagne

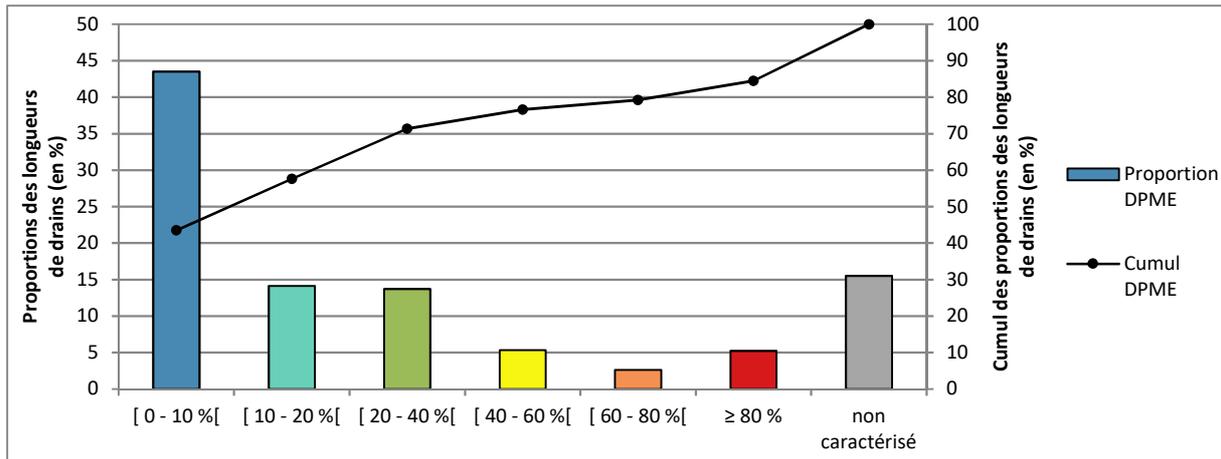
Pour analyser les résultats, la répartition de la somme des longueurs de drains est examinée par classe de taux d'étagement. Le graphique suivant présente les proportions et les fréquences cumulées de linéaires de masse d'eau examinées globalement à l'échelle du bassin.

Pour cet indice, 30 274 km ont été caractérisés sur 35 829 km. Les 5 555 km non caractérisés correspondent à deux cas de figure : les linéaires qui n'ont pas intercepté d'ouvrages à moins de 75m et ceux dont le dénivelé est négatif ou égale à 0. Ils sont représentés en gris sur le graphique ci-dessous.

**La classe d'étagement qui couvre le plus de linéaire (43%) correspond au niveau de pression d'étagement le plus faible [0 - 10%].**

Le fait que les taux d'étagement les plus faibles (entre 0 % et 40%) soit nettement mieux représentés dans cette distribution s'explique pour deux raisons : d'une part **le linéaire du chevelu hydrographique est majoritaire**, d'autre part **ces petits cours d'eau sont globalement moins sensibles à la pression d'étagement sous l'effet des pentes plus élevées qui caractérisent les têtes de bassin.**

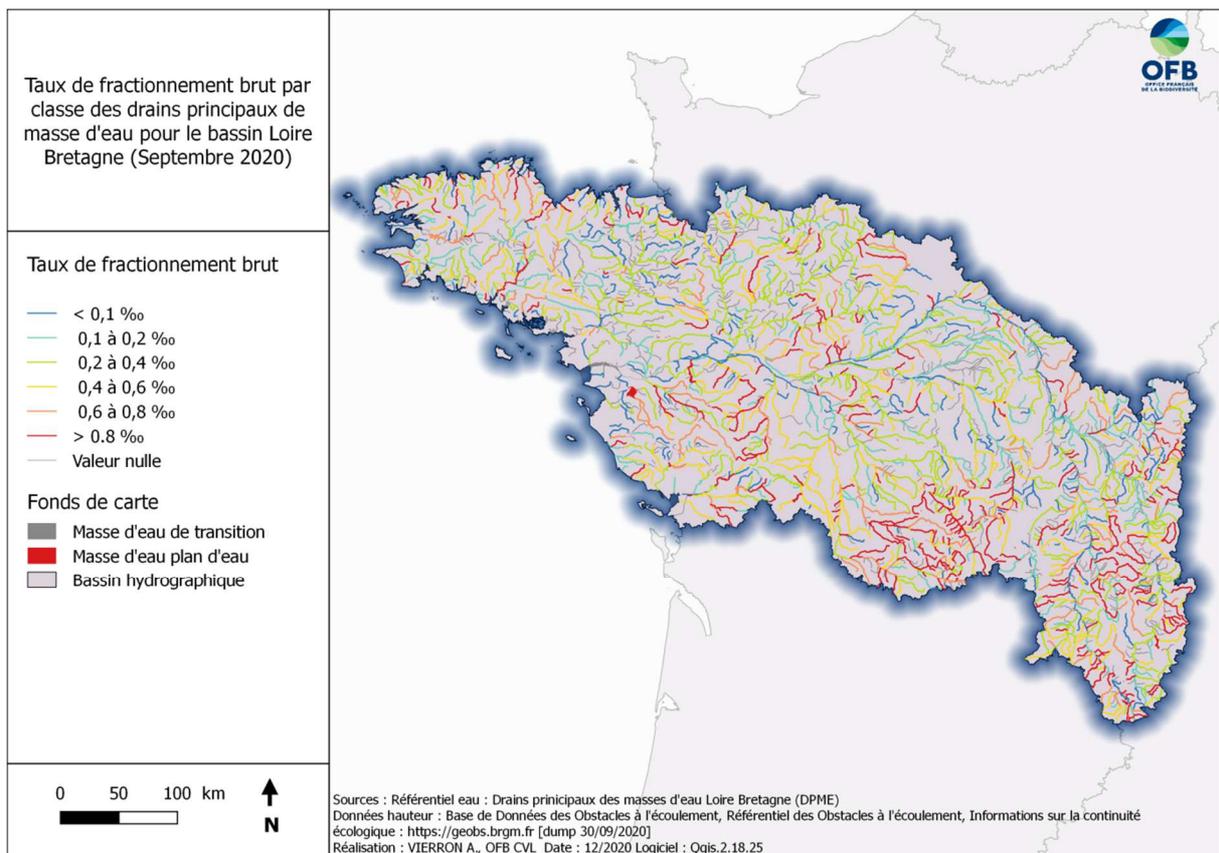
A amplitude égale au sein de la distribution (par tranche de 20%) la répartition globale du linéaire hydrographique diminue régulièrement jusqu'à la classe d'étagement [60% - 80%] puis remonte au niveau de la dernière classe [80% - 100%].



fréquences (histogramme) et fréquences cumulées croissantes (courbe) des longueurs de drains principaux de masse d'eau Loire-Bretagne par classe de taux d'étagement.

### - Taux de fractionnement brut

La cartographie ci-dessous permet de visualiser les taux de fractionnement brut de chaque drain principal sur le bassin versant Loire-Bretagne. Les résultats sont exprimés en pour-mille et distribués en six classes.



Taux de fractionnement par classe des drains principaux de masse d'eau pour le bassin Loire-Bretagne

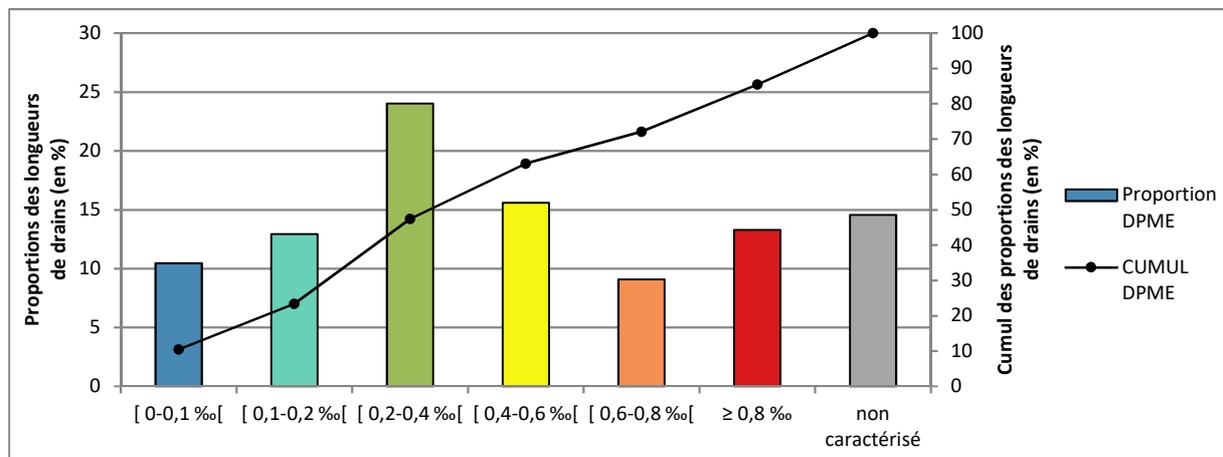
Pour cet indice, 30 607 km de cours d'eau ont été caractérisés. Les 5 222 km de cours d'eau non caractérisé sont légèrement moins nombreux pour le taux de fractionnement brut que pour le taux

d'étagement, car la donnée « cours d'eau » (ici la longueur) est toujours positive, ce qui n'était pas forcément le cas du dénivelé pour le calcul du taux d'étagement.

Pour le calcul des taux de fractionnement net et médian, un traitement spécifique est appliqué aux 67 ouvrages qui sont équipés de dispositif de franchissement et qui ont pu être évalués en donnant un « avis technique global positif ». Pour le fractionnement net, ces ouvrages sont supprimés du calcul. Pour le fractionnement médian, la moitié de la hauteur de chute de ces obstacles est retenue pour le calcul.

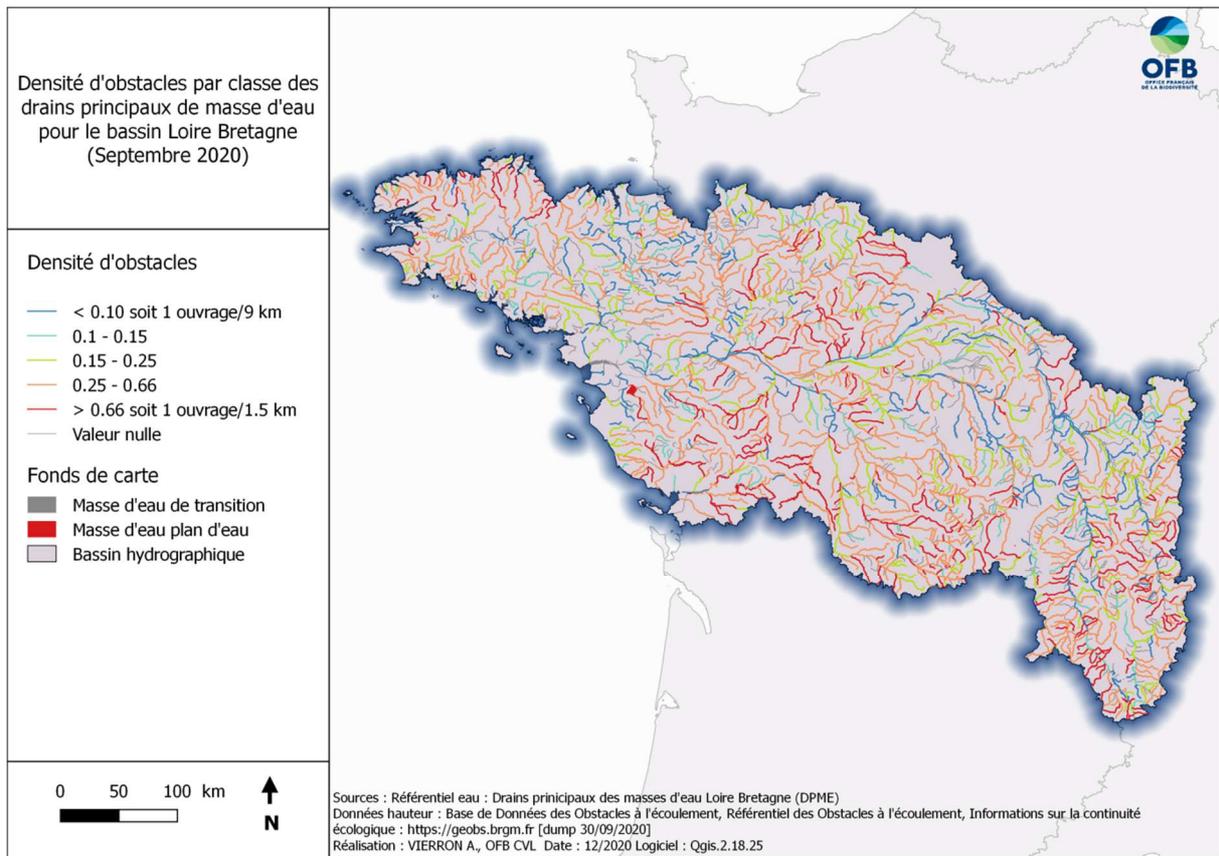
NB : la proportion d'ouvrages équipés étant faible à l'échelle du bassin et le contenu de la BDOe étant encore peu renseigné en termes d'avis technique global, les résultats des trois variantes de fractionnement sont très proches les uns des autres. La saisie de cette information sur la conformité des ouvrages équipés constitue une priorité des services territoriaux de l'OFB en matière d'enrichissement et de mise à jour de la BDOe.

Comme pour le taux d'étagement, le graphique suivant présente les proportions ainsi que les fréquences cumulées croissantes des longueurs des drains principaux de masse d'eau par classe de taux de fractionnement. Globalement, en termes de linéaire, le fractionnement des drains principaux est assez bien réparti entre les différentes classes. Le plus grand écart de longueurs cumulées apparaît entre la classe [0,2 – 0,4 ‰ [ la plus importante et la classe [0,6 – 0,8 ‰[ la moins importante (respectivement : 8 611 km et 3 255 km, au total en Loire-Bretagne).



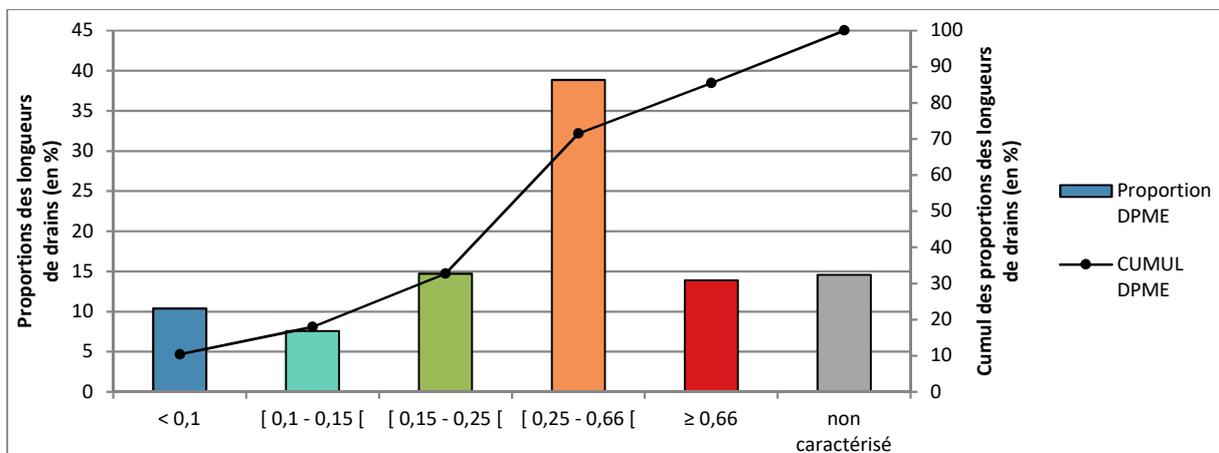
Fréquences (histogramme) et fréquences cumulées croissantes (courbe) des longueurs de drains principaux de masse d'eau Loire-Bretagne par classe de taux de fractionnement.

- Densité



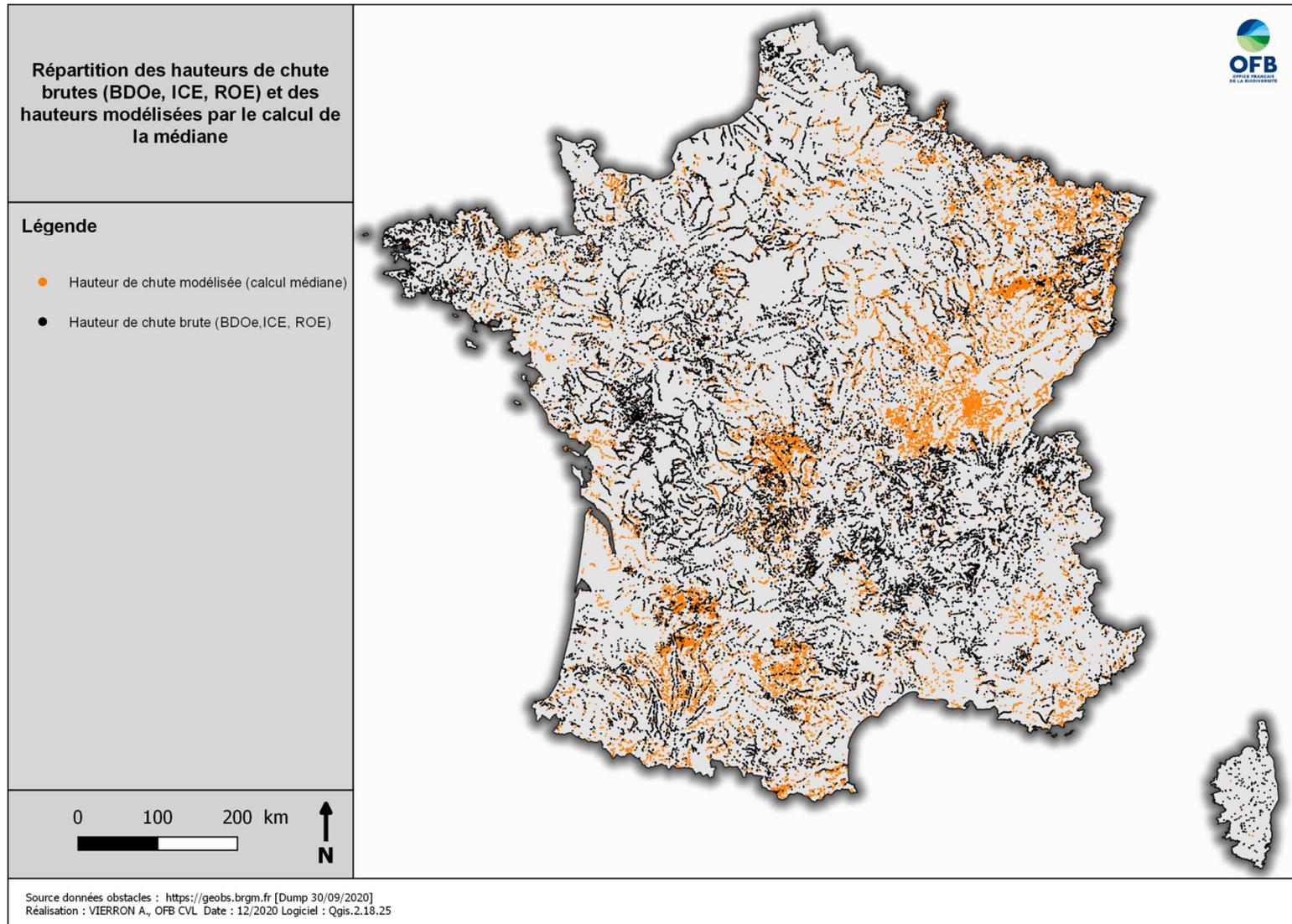
Densité par classe des drains principaux de masse d'eau pour le bassin Loire-Bretagne

Comme pour le taux de fractionnement brut, 5 222 km de drains principaux n'ont pas été caractérisés (14%). Globalement, le graphique suivant présente une situation marquée par les classes de densité d'ouvrages les plus élevées. Moins de 10 % du linéaire de Loire-Bretagne présente une densité situé dans la classe la plus basse, moins de 1 ouvrage tous les 9 km (densité < 0,1). A l'opposé, 62% du linéaire caractérisé présente une densité supérieure à un ouvrage tous les 4 kilomètres (densité > 0,25).

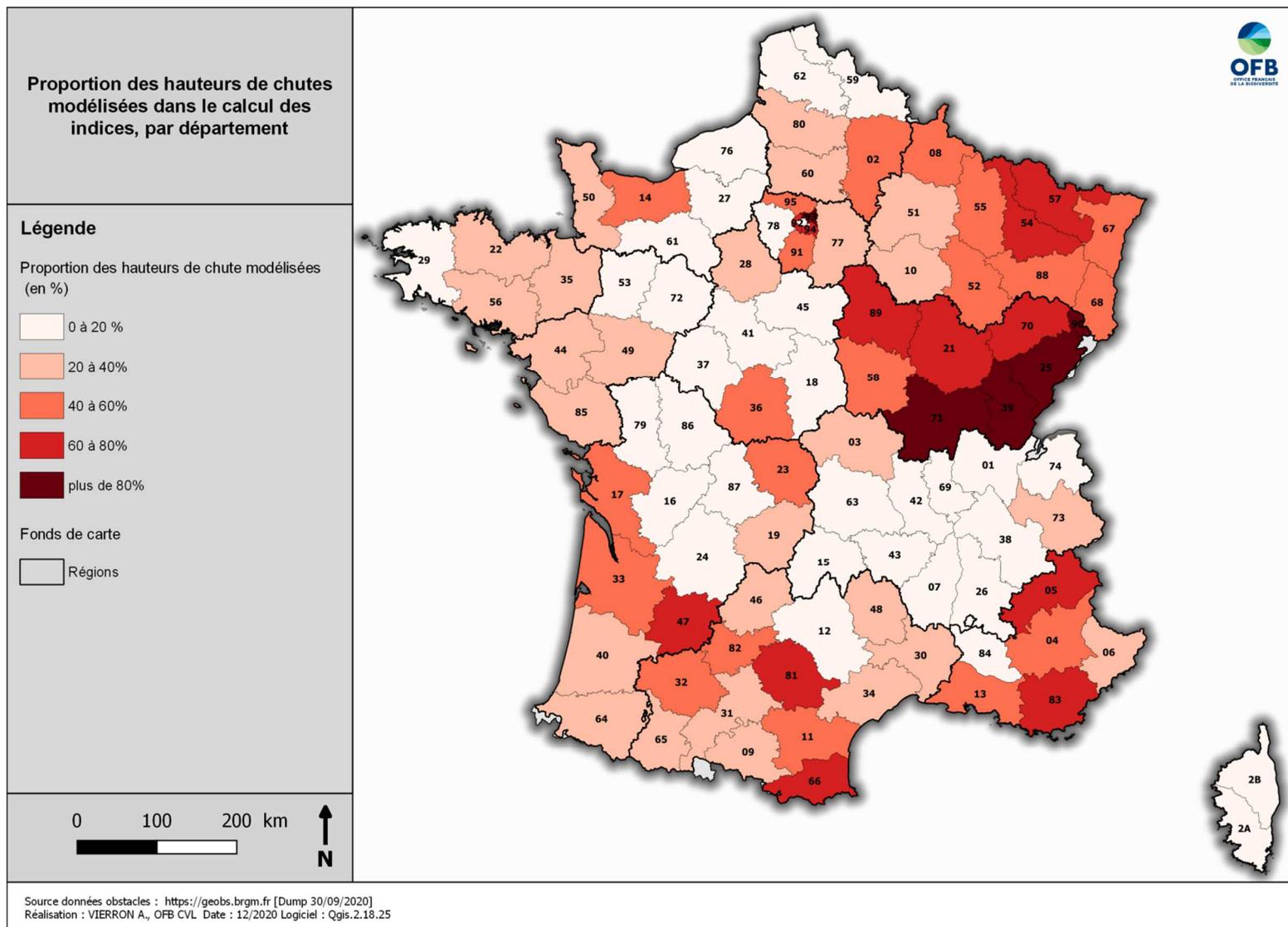


Fréquences (histogramme) et fréquences cumulées croissantes (courbe) des longueurs de drains principaux de masse d'eau Loire-Bretagne par classe de densité.

## Annexe 7 : Répartition des hauteurs de chutes modélisées par calcul de la médiane



## Proportion des hauteurs de chutes modélisées, par département



## Annexe 8 : Tableau des hauteurs de chute « aberrantes », remplacées par une hauteur modélisée

Code ROE	Nom de l'ouvrage	Type de l'ouvrage	Etat de l'ouvrage	Bassin hydrographique	Département	Hauteur de chute ICE (m)	Hauteur de chute ROE (m)	Hauteur de chute retenue et jugée "aberrantes" (m)
55991	Busage remblai des Grandes Combes	Obstacle induit par un pont	Existant	RHONE-MEDITERRANEE	73		35	35
111445	Buse	Obstacle induit par un pont	Existant	RHIN-MEUSE	57		40	40
111444	Buse	Obstacle induit par un pont	Existant	RHIN-MEUSE	57		50	50
47100	3 seuils pont du Gua RD42	Seuil en rivière	Existant	RHONE-MEDITERRANEE	38		35	35
3024	busage	Seuil en rivière	Existant	RHIN-MEUSE	8		40	40
27622	RETENUE DU CHATEAU DE MOIRON	Seuil en rivière	Existant	SEINE-NORMANDIE	52		40	40
92778	Seuil de la cabane	Seuil en rivière	Existant	RHONE-MEDITERRANEE	39		50	50
72044	Seuil de l'ancienne forge d'Estaniels	Seuil en rivière	Existant	ADOUR-GARONNE	9	58		58
36221	Moulin de dissangis	Seuil en rivière	Existant	SEINE-NORMANDIE	89	116		116
47000	Barrage du moulin haut	Seuil en rivière	Existant	RHONE-MEDITERRANEE	11	126		126
17070	Le Moulin de Moutot	Seuil en rivière	Existant	SEINE-NORMANDIE	89	128		128
27536	SITE			SEINE-NORMANDIE	58		40	40
951	BARRAGE DE LA FERME			RHIN-MEUSE	8		50	50
28644	Site de Beaucouneyroux			LOIRE-BRETAGNE	43		94,23	94,23
28707	site La Mouteyre			LOIRE-BRETAGNE	43		94,5	94,5
28639	Site aval ruisseau Malosse		Détruit partiellement	LOIRE-BRETAGNE	43		104,94	104,94
28648	site du Granegoules			LOIRE-BRETAGNE	43		152,37	152,37
28653	site Bessarioux			LOIRE-BRETAGNE	43		177,48	177,48
28654	site la Bernade			LOIRE-BRETAGNE	43		179,82	179,82
28697	site ruisseau des empèzes			LOIRE-BRETAGNE	43		190,89	190,89
28652	site amont Pontails			LOIRE-BRETAGNE	43		192,42	192,42
28701	site Chamboutes			LOIRE-BRETAGNE	43		201,6	201,6
25146	site les Hers			LOIRE-BRETAGNE	43		349,2	349,2