
Mémoire

Auteur : Pinsar, Thomas

Promoteur(s) : Epicum, Sebastien

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/11749>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Faculté des Sciences

Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

[2020-2021]

Analyse de l'impact des petites centrales hydroélectriques sur le débit des cours d'eau en Wallonie



Mémoire présenté par Thomas Pinsar

en vue de l'obtention du grade de Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

Rédigé sous la direction du Dr. Sébastien Erpicum

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : PINSAR Thomas, thomas.pinsar19@gmail.com

Remerciements

Au terme de ce mémoire, je souhaite exprimer tout mon respect et ma reconnaissance envers les personnes qui ont participé de près ou de loin à ce projet.

Tout d'abord, je souhaite adresser un tout grand merci à mon promoteur, Docteur Sébastien Erpicum, pour son encadrement, ses enseignements et ses nombreux conseils tout au long de mon travail. Je souhaite aussi lui exprimer ma gratitude pour son aide lors de la rédaction et la relecture de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Messieurs Sébastien Gailliez et Pierre Archambeau, membres de mon jury, pour le temps qu'ils ont accordé à ce travail, pour leurs conseils et leurs relectures.

Ensuite, je tiens à remercier les propriétaires des différentes centrales hydroélectriques de m'avoir ouvert leurs portes et pour leurs réponses à mes questions. Sans eux, ce travail n'aurait pas été possible.

Finalement, je remercie de tout mon cœur mes parents et ma copine pour leur soutien et leurs encouragements durant l'entièreté de mes études, ainsi que pour leur aide pour l'aboutissement de ce projet.

Table des matières

Remerciements	2
Table des illustrations.....	5
Introduction et contexte	7
Fonctionnement d'une centrale.....	11
1. Schéma général	11
2. Etapes de fonctionnement	11
3. Les différents types de turbines	13
Turbines à action	14
Turbines à réaction.....	15
Turbines ichtyocompatibles	16
4. Mode de fonctionnement	18
Niveau amont constant	18
Eclusée.....	19
Impacts sur la faune et la flore.....	20
1. Impacts	20
Blocage de la circulation.....	20
Turbine	20
Débit	21
Effet cumulatif	21
2. Solutions.....	21
Turbines ichtyocompatibles	22
Echelles à poissons	22
Arrêtés ministériels	23
Code de l'Eau.....	23
Méthodologie utilisée	24
1. Rivières	24
2. Localisation des sites	24
3. Calendrier de turbinage.....	25
4. Pluviométrie	25
5. Méthode d'analyse des données	25
Résultats.....	27
1. Choix des rivières.....	27
2. Cartes des stations de mesures et des centrales hydroélectriques.....	27
Le Burnot	28
Le Hoyoux.....	29

La Lhomme	30
La Mehaigne	32
La Vesdre	33
3. Calendrier de fonctionnement	34
4. Précipitations annuelles	35
5. Données de débit	36
Analyse des résultats	38
1. Comparaison avec rivières neutres	38
2. Rivière A.....	41
3. Rivière B.....	44
4. Rivière C.....	46
5. Rivière D	49
6. Rivière E.....	51
Conclusion	56
1. Axes d'amélioration.....	56
2. Projection	56
Bibliographie.....	58
Banque d'images	59
Annexes	61
1. Arrêtés ministériels	61
2. Précipitations.....	77
3. Histogrammes des gradients de débit.....	85

Table des illustrations

Tableau 1 Pluviométrie depuis 2013 à Uccle	35
Tableau 2 Caractéristiques statistiques de la rivière neutre 1	38
Tableau 3 Tableau des écarts-types de la rivière D.....	41
Tableau 4 Caractéristiques statistiques rivière A	43
Tableau 5 Caractéristiques statistiques rivière A avec et sans pics de pluie.....	44
Tableau 6 Caractéristiques statistiques rivière B	45
Tableau 7 Caractéristiques statistiques rivière C	48
Tableau 8 Comparaison F-test sur les cinq rivières.....	48
Tableau 9 Caractéristiques statistiques rivière D	49
Tableau 10 Caractéristiques statistiques rivière E station E.a	53
Tableau 11 Caractéristiques statistiques rivière E station E.b	55
Figure 1 Carte des centrales de production hydroélectriques.....	7
Figure 2 Puissance hydroélectrique installée.....	8
Figure 3 Production hydroélectrique annuelle	9
Figure 4 Schéma général d'une centrale hydroélectrique	11
Figure 5 Schéma de la production hydroélectrique.....	12
Figure 6 Turbine à réaction et turbine à action.....	13
Figure 7 Turbine Pelton	14
Figure 8 Turbine Banki/Crossflow/Ossberger	14
Figure 9 Turbine Francis	15
Figure 10 Turbine Kaplan.....	16
Figure 11 Turbine Kaplan.....	16
Figure 12 Vis d'Archimède.....	17
Figure 13 Turbine VLH	17
Figure 14 Centrale à niveau amont constant sans dérivation.....	18
Figure 15 Centrale à niveau amont constant avec canal de dérivation	19
Figure 16 Vis d'Archimède.....	22
Figure 17 Carte des stations de mesures de débit	24
Figure 18 Carte des stations de mesures de débit et centrales hydroélectriques.....	28
Figure 19 Le Burnot	29
Figure 20 Le Hoyoux	30
Figure 21 La Lhomme	31
Figure 22 Centrales hydroélectriques : Poix-Saint-Hubert.....	31
Figure 23 La Mehaigne	32
Figure 24 La Vesdre	33
Figure 25 Calendrier de turbinage.....	34
Figure 26 Pluviométrie à Uccle avec une courbe de tendance	35
Figure 27 Somme des débits normés	37
Figure 28 Hydrogramme de la rivière neutre.....	38
Figure 29 Hydrogramme de la rivière neutre 2	39
Figure 30 Hydrogramme de la rivière D	39
Figure 31 Histogramme des gradients de débit de la rivière neutre 2 12-25 août.....	40
Figure 32 Histogramme des gradients de débit de la rivière D 12-25 août	41
Figure 33 Hydrogramme de la rivière A	42
Figure 34 Hydrogramme de la rivière A sans les pics dus à la pluie.....	42

Figure 35 Histogramme des gradients de débit de la rivière A 12-25 août	43
Figure 36 Histogramme des gradients de débit de la rivière A sans pic de pluie 12-25 août.....	44
Figure 37 Hydrogramme de la rivière B	45
Figure 38 Graphique des écarts-types des gradients de débit sur la rivière B.....	46
Figure 39 Courbe des débits classés sur la rivière C.....	46
Figure 40 Hydrogramme de la rivière C.....	47
Figure 41 Graphique des écarts-type des gradients de débit sur la rivière C	47
Figure 42 Hydrogramme de la rivière D	49
Figure 43 Histogramme des gradients de débit de la rivière D 12-25 août	50
Figure 44 Histogramme des gradients de débit de la rivière D sans pic de pluie 12-25 août.....	50
Figure 45 Hydrogramme de la rivière D sans pic de pluie.....	51
Figure 46 Courbe des hauteurs classées sur la rivière E station E.a	52
Figure 47 Courbe des débits classés sur la rivière E station E.b.....	52
Figure 48 Hauteurs d'eau sur la rivière E station E.a.....	53
Figure 49 Hauteurs d'eau rivière E station E.a septembre-octobre.....	54
Figure 50 Hauteurs d'eau rivière E station E.a septembre.....	54
Figure 51 Hydrogramme de la rivière E station E.b.....	55

Introduction et contexte

Pour la réalisation de ce mémoire, j'ai souhaité m'orienter vers les énergies renouvelables pour mettre en pratique mes études précédentes (bachelier en Energies Alternatives et Renouvelables). Ainsi, j'ai cherché un sujet reprenant la gestion de l'eau et la production d'énergie. Lors d'une entrevue avec le Dr. Sébastien Erpicum, il m'a parlé d'un projet qui lui tenait à cœur et qui pouvait être le sujet d'un travail. J'ai donc choisi de réaliser mon mémoire sur l'impact des centrales hydroélectriques sur le débit des cours d'eau et essentiellement en période d'étiage.

La transition énergétique vers des énergies renouvelables est connue de tous à présent. Dans cette optique, la Belgique développe sa capacité de production depuis maintenant plusieurs années. Notre pays possède de nombreux sites pour installer une centrale hydroélectrique. Nous en retrouvons quelques-uns en Flandre mais la majorité se trouve en Wallonie. Le recensement réalisé par l'APERe (Association pour la Promotion des Energies Renouvelables) en mars 2018 repris ci-dessous [1] nous indique la localisation des différents sites (Figure 1). Sur les 166 sites recensés, seulement 13 se situent en Flandre, les 153 autres sont en Wallonie.

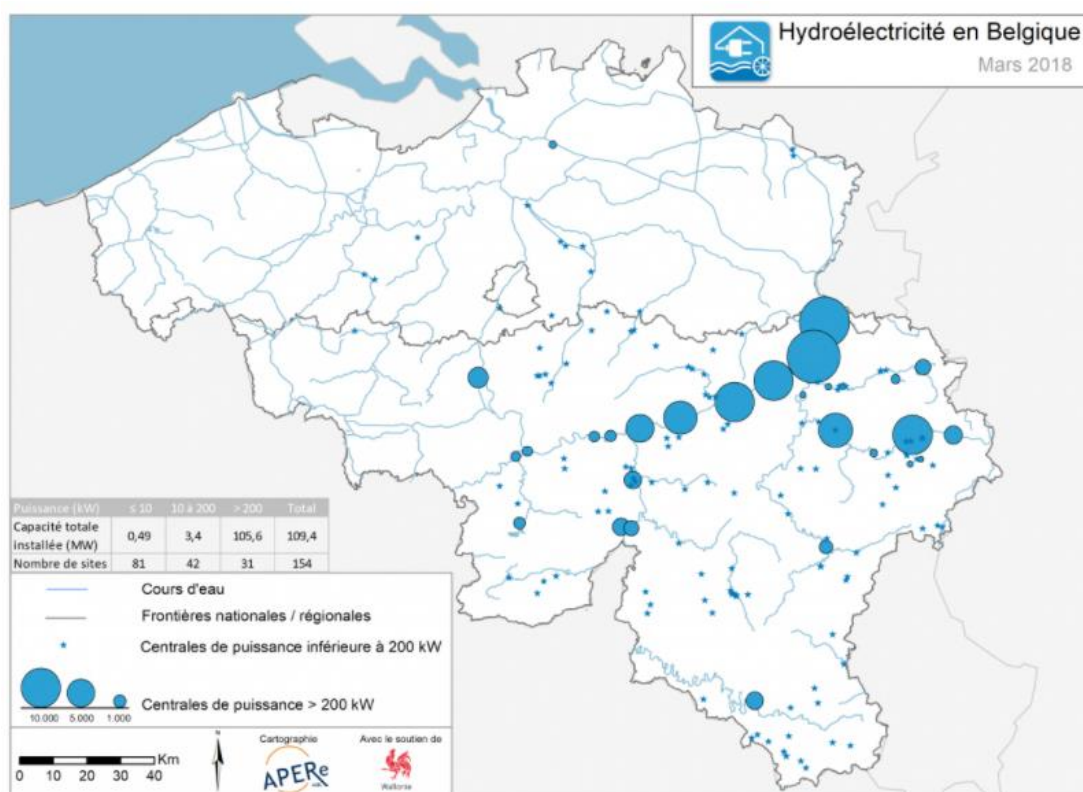


Figure 1 Carte des centrales de production hydroélectriques

Nous pouvons voir sur la Figure 2 que le nombre de sites équipés de production hydroélectrique est en forte hausse mais que la puissance installée n'augmente que très légèrement. Nous l'expliquons par le fait que la majorité des sites avec un haut potentiel sont équipés depuis un certain temps. En revanche, beaucoup de nouveaux sites de faible puissance sont exploités mais ne font pas augmenter la puissance totale de manière significative. Dans le futur, les dernières écluses ou sites à forte puissance seront équipés d'une centrale et permettront une augmentation de la puissance totale.

PUISSANCE INSTALLÉE

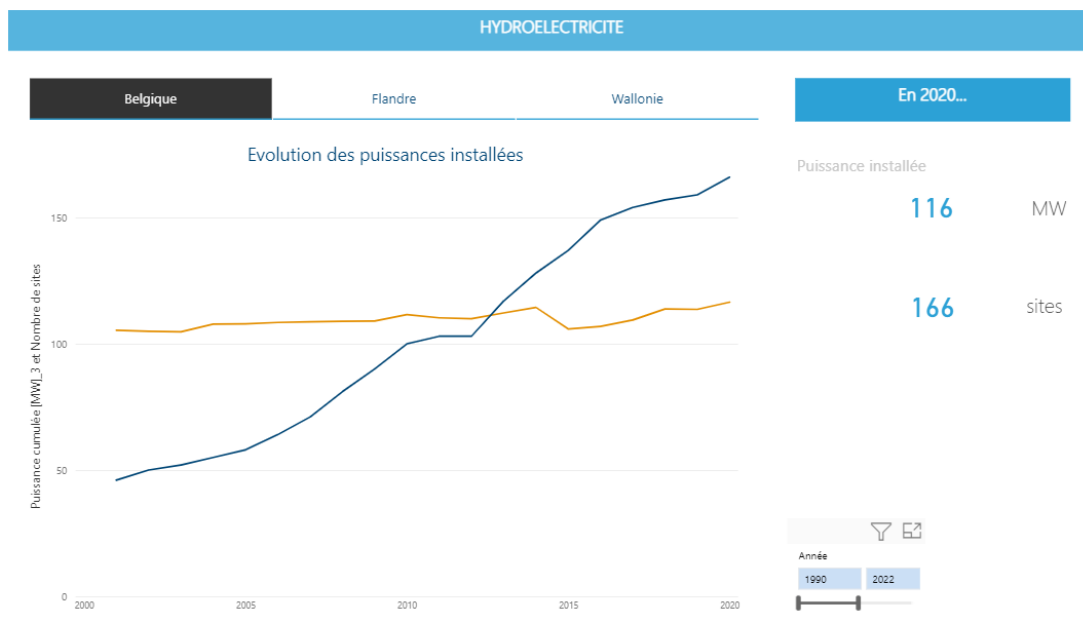


Figure 2 Puissance hydroélectrique installée

Les plus grosses centrales se trouvent sur la Meuse au niveau des barrages mobiles. Petit à petit, chaque site va être équipé afin de devenir une centrale de production d'électricité. A terme, la SOFICO (société wallonne de financement complémentaire) a pour objectif d'installer des turbines sur tous les barrages de la Meuse, la Sambre et l'Ourthe. Sur les 15 écluses présentes sur la Meuse, seules trois ne sont pas encore équipées de turbines [2]. Les écluses de Dinant, Rivière et La Plante viendront compléter celles de Tailfer, de Hun, de Houx, d'Anseremme, de Waulsort et d'Hastière sur la haute Meuse. Dans le cas de la Sambre, quatre centrales sont à l'études, Salzennes, Auvélais, Roselies et Marcinelle. Pour le moment, deux autres à Montignies-sur-Sambre et Monceau-sur-Sambre sont opérationnelles. Enfin, sur l'Ourthe, la centrale des Grosses-Battes et celle de Chanxhe tournent à plein régime depuis plusieurs mois. Seule la centrale de Fêchereux-Hony n'est pas encore en fonction.

Ces différentes centrales ne seront pas étudiées dans ce travail. Nous nous limiterons aux centrales de puissance inférieure à 200 kW situées sur les rivières non navigables en Wallonie. Nous avons constaté qu'elles se trouvent principalement dans les provinces de Namur, du Brabant wallon, de Liège et de Luxembourg.

PRODUCTION ANNUELLE

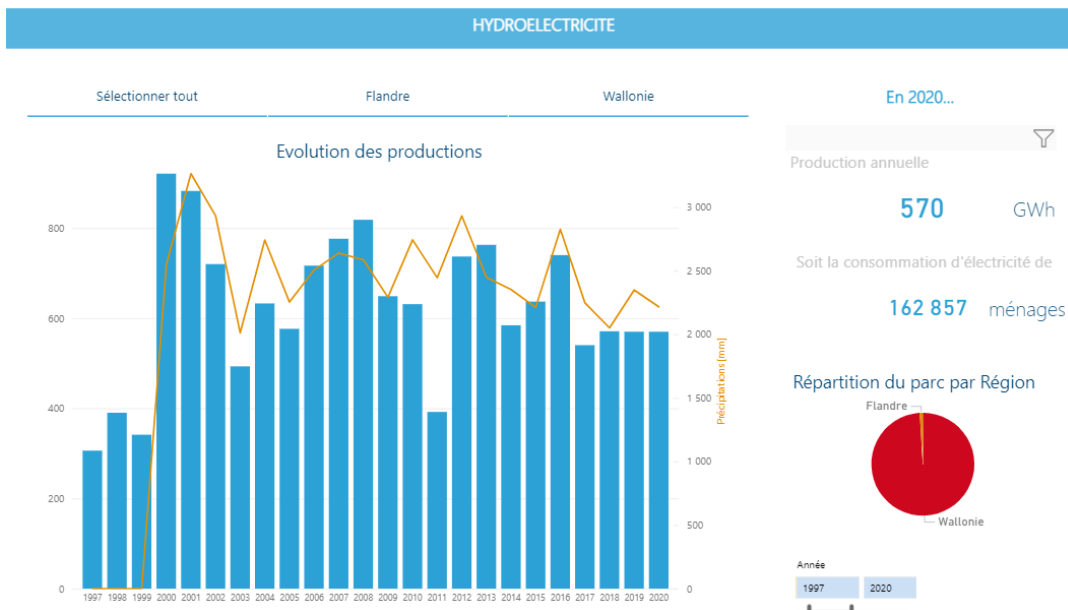


Figure 3 Production hydroélectrique annuelle

La figure 3 nous indique l'évolution de la production hydroélectrique belge en kWh depuis que l'APERe a commencé ses relevés. Au passage des années 2000, il y a eu une forte augmentation de la production qui a été multipliée par deux. Entre 2000 et 2017, la production a fortement fluctué pour devenir stable à partir de 2017. La stabilité vient du fait que les bilans régionaux ne sont pas encore disponibles pour l'APERe et donc la production est une estimation en fonction du taux de charge. Ce taux de charge varie entre 35 % et 60 % en fonction des cours d'eau. Pour réaliser cette estimation, les données de pluviométrie sont également prises en compte.

Les centrales hydroélectriques sur les cours d'eau sont exploitées selon différents modes qui sont l'écluse ou le niveau amont constant. La classification se fait essentiellement en fonction de la constante de vidange de l'éventuelle réserve d'eau. Les deux modes de fonctionnement seront expliqués par après.

Ces trois dernières années, des sévères périodes d'étiage ont frappé la Wallonie. Cela a conduit l'administration à interdire le turbinage pendant certains laps de temps. Les périodes d'interdiction ainsi que les historiques de production des centrales hydroélectriques et les données de monitoring des débits dans les rivières sont une source d'information intéressante. En couplant toutes ces données, il est peut-être possible de quantifier l'impact des petites centrales hydroélectriques et singulièrement leur mode d'exploitation sur les débits des rivières en étiage.

L'objectif initial de ce travail est de savoir s'il y a moyen de quantifier l'impact des centrales hydroélectriques sur les rivières non navigables de Wallonie. Nous verrons au fur et à mesure si cet objectif est réalisable ou non. L'idée part du fait que des Arrêtés ministériels ont interdit temporairement l'exploitation des centrales hydroélectriques afin de diminuer leur impact sur la faune et la flore des rivières. Il est dès lors possible de comparer les données de débit avec turbinage et sans turbinage. Cette comparaison nous permettra de caractériser et chiffrer la différence selon les années avec et sans interdiction.

Les centrales et cours d'eau étudiés dans ce travail font partie des sites exploités depuis longtemps par l'Homme. Avant l'invention de l'électricité, des moulins se trouvaient déjà aux emplacements actuels des centrales. Petit à petit, ils ont été transformés en centrale de production d'électricité. Certains ont gardé leur roue à aubes mais la grande majorité a vu cette dernière remplacée par une turbine. En Wallonie, il y a des dizaines de sites exploités pour la production hydroélectrique. Cela ne représente qu'une petite partie du potentiel wallon. Au siècle passé, plus de 3000 moulins étaient en fonctionnement en Wallonie. Il reste encore donc de nombreuses chutes exploitables.

Un problème pouvant se poser dans la gestion des petites centrales hydroélectriques est la multiplicité des propriétaires. Leur gestion est plus difficile car il faut pouvoir communiquer avec chacun d'eux et prendre des décisions en concertant tout le monde. C'est pour cela que les décisions finales sont prises sous forme d'Arrêtés ministériels. Les centrales sur les rivières navigables sont la propriété de trois sociétés. Il est donc plus facile de gérer leur exploitation.

Dans ce travail, nous commencerons par une approche théorique afin de mieux comprendre le fonctionnement des centrales hydroélectriques et les impacts qu'elles peuvent avoir sur les rivières. Ensuite, la méthodologie utilisée pour répondre aux objectifs sera expliquée. Pour continuer, nous verrons et analyserons les résultats que cette méthodologie apporte. Enfin, nous pourrons tirer une conclusion.

Fonctionnement d'une centrale

Il y a deux types de fonctionnement pour les centrales au fil de l'eau présentes sur les rivières non navigables de Wallonie. Tout d'abord, les centrales à niveau amont constant, elles n'ont pas besoin d'une réserve d'eau mais utilisent le débit existant à l'instant 't' de la rivière. Ensuite, la seconde manière de fonctionner est par éclusée. Une réserve d'eau est alors nécessaire car les turbines ne fonctionnent qu'avec une certaine gamme de débits.

1. Schéma général

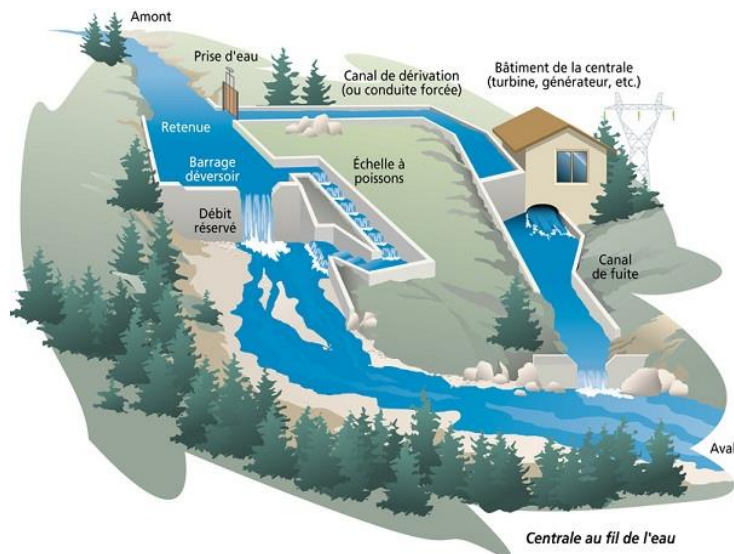


Figure 4 Schéma général d'une centrale hydroélectrique

Sur l'image ci-dessus (Figure 4), nous pouvons observer le schéma extérieur d'une centrale hydroélectrique installée au fil de l'eau. Sur la gauche, se trouvent le barrage qui crée la chute, le débit réservé et éventuellement une échelle à poissons. Sur la droite, nous pouvons voir les différents éléments de la centrale expliqués un peu plus loin dans ce travail.

Ce schéma n'est pas figé. Il est là pour montrer les différentes parties que nous retrouvons dans une centrale hydroélectrique. L'échelle à poissons par exemple, est régulièrement placée du côté de la centrale car c'est là que passe le débit le plus élevé. Au niveau du canal de fuite, il y a rarement un déversoir car cela représenterait une perte de chute. De plus, chaque site est différent et le positionnement des éléments reste à définir selon la morphologie du lieu.

2. Etapas de fonctionnement

Le fonctionnement d'une centrale hydroélectrique peut être expliqué en plusieurs étapes.

Etape 1 : le barrage ou la prise d'eau

Le barrage est là pour créer une chute. Une prise d'eau est semblable à une ouverture dans la berge du cours d'eau pour le dévier. C'est au niveau de ce barrage qu'un passage est laissé pour assurer le débit réservé dans le bras naturel de la rivière.

Etape 2 : le bras de dérivation ou canal d'aménée (facultatif)

C'est le chemin que parcourt l'eau en quittant le lit de la rivière avant d'arriver à l'étape suivante. Ce bras est plus ou moins long en fonction de la pente de la rivière et de la hauteur de chute souhaitée.

Etape 3 : le dégrilleur

C'est une grille permettant de retenir une partie des feuilles, des branches et des autres choses pouvant endommager les pales de la turbine. Un râtelier vient retirer les objets pris dans la grille. Il peut être activé à l'aide d'une minuterie ou de capteurs mesurant la différence de hauteur d'eau en amont et en aval de la grille.

Etape 4 : la conduite forcée

C'est une conduite à travers laquelle l'eau passe pour rejoindre la chambre où se trouve la turbine. Cette conduite fait le lien entre l'altitude du bras d'aménée et l'altitude de la turbine.

Etape 5 : le groupe turbo-alternateur

C'est l'étape la plus importante pour la production d'électricité. L'eau venant de la conduite forcée est dirigée vers les pales de la turbine grâce à des injecteurs ou des directrices. La turbine entre en rotation et un arbre se charge de transmettre cette rotation au rotor. Celui-ci tournant à l'intérieur d'un stator, il y a production d'électricité. Celle-ci est ensuite amenée vers un transformateur puis envoyée sur le réseau de distribution.

Etape 6 : l'aspirateur/le canal de sortie

Ce canal sert à diriger l'eau entre la sortie de la turbine et le lit de la rivière.

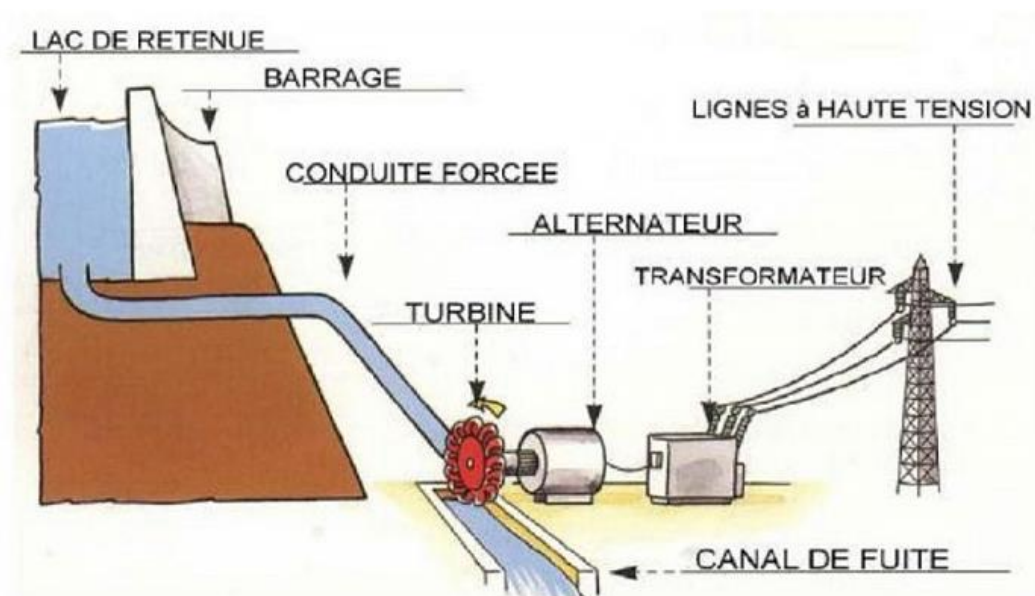


Figure 5 Schéma de la production hydroélectrique

3. Les différents types de turbines

Il existe plusieurs types de turbines qui s'utilisent en fonction des caractéristiques du site. Les deux grands types de turbines sont les turbines à action et les turbines à réaction [3] (Figure 6).

La caractéristique d'une turbine à action est que l'énergie de l'eau est uniquement cinétique. Un jet dirigé et accéléré par un injecteur vient exercer une pression sur des augets ou des aubes profilées sur la périphérie d'une roue. La force du jet met en mouvement la roue et cette rotation est transmise à l'alternateur. Il s'ensuit la production d'électricité comme expliqué précédemment. Ce type de turbine tourne en système dénoyé.

Les turbines à réaction sont un peu plus complexes. Tout d'abord, elles fonctionnent en système noyé. C'est-à-dire que le système entier de la turbine est sous eau. Elles utilisent la vitesse de l'eau ainsi qu'une différence de pression entre la face supérieure et la face inférieure des pales. Une bêche spiralee ou des aubages directeurs distribuent l'eau autour de la roue. Des aubages fixés sur une roue récupèrent ce mouvement circulaire pour faire tourner un axe qui entrainera un alternateur. De plus, la pression est plus faible à la sortie et fait donc office d'aspirateur. Ce type de turbine utilise l'énergie cinétique de l'eau mais aussi de l'énergie potentielle. Un problème majeur des turbines à réaction est l'apparition du phénomène de cavitation. Lorsque la pression est trop basse, la pression de vaporisation de l'eau peut être atteinte par endroit. Il s'ensuit alors formation de bulles de vapeur d'eau, qui se détachent de la surface de l'aube en suivant l'écoulement. Une fois arrivées dans une zone où la pression est plus importante, ces bulles implosent en créant une onde de pression. Ces implosions provoquent de l'érosion sur les augets/pales de la turbine et endommagent le matériel.

Ci-dessous, nous pouvons voir la différence entre une turbine à action à droite et une à réaction à gauche.

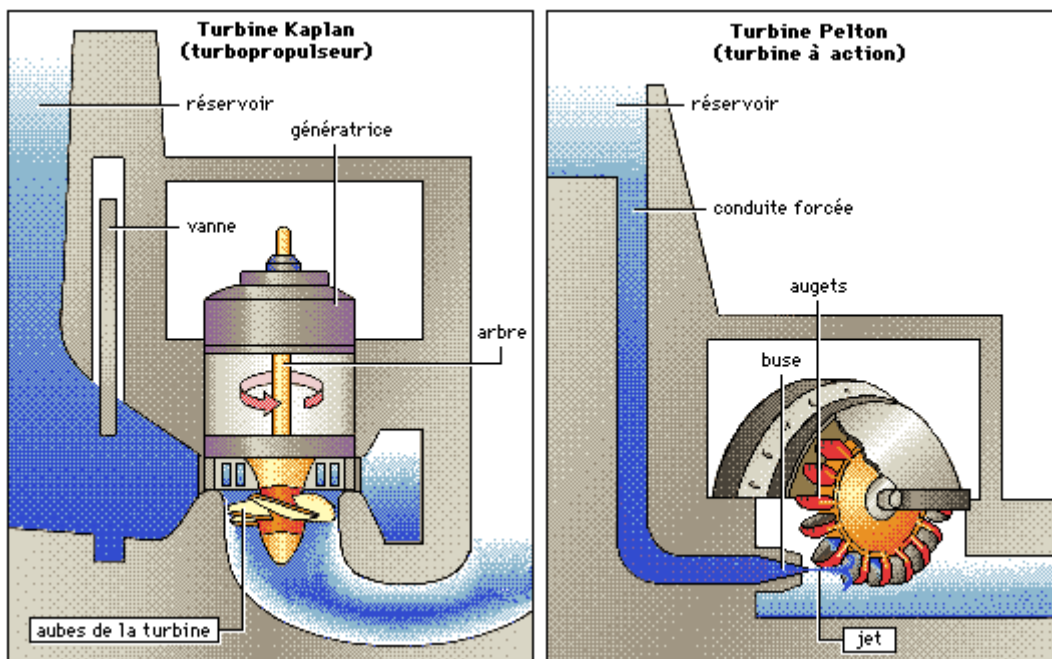


Figure 6 Turbine à réaction et turbine à action

Turbines à action

Pelton

La turbine Pelton (Figure 7) est composée de quatre éléments. Il y a les augets qui sont fixés sur la roue. Ils sont profilés pour maximiser le rendement tout en laissant l'eau s'échapper vers l'extérieur. Ensuite, les injecteurs, il peut y en avoir jusqu'à six et sont conçus pour produire un jet le plus homogène possible. Le débit fourni par les injecteurs est réglé à l'aide d'un pointeau mobile et celui-ci est déplacé par un servomoteur. Enfin, un déflecteur est présent afin de protéger la turbine d'un emballement en cas de démarrage trop brusque de la génératrice. Les déflecteurs se placent rapidement entre l'injecteur et la roue afin de dévier le jet.

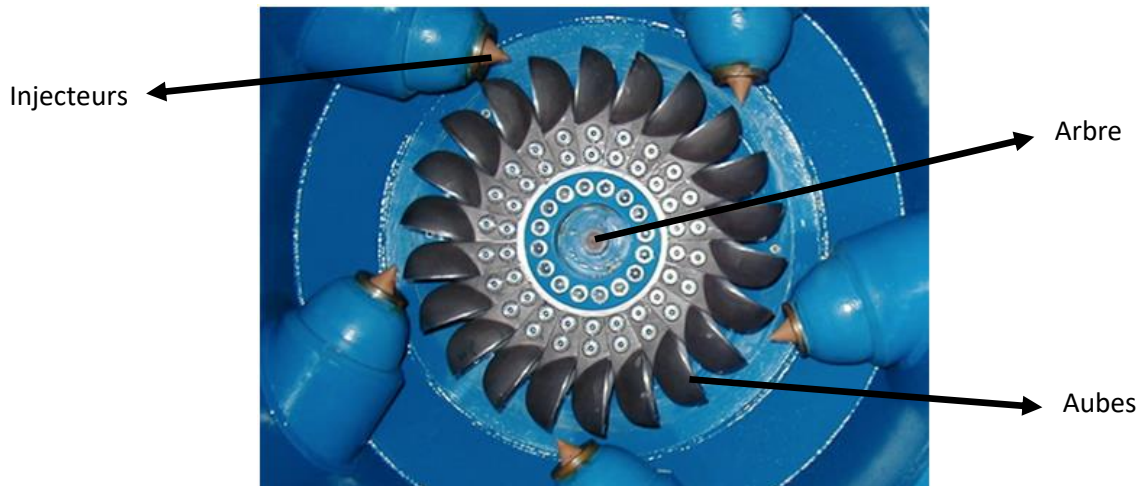


Figure 7 Turbine Pelton

Banki / Crossflow / Ossberger

Ce type de turbine (Figure 8) a une bonne capacité d'adaptation aux différents débits et hauteurs de chute. De plus, vu son fonctionnement, elle est autonettoyante. L'eau passe deux fois à travers les aubes. Sa vitesse de rotation étant assez lente, ce type de turbine doit être couplé à un démultiplicateur. Un démultiplicateur est un dispositif permettant de synchroniser la rotation de la turbine et celle du générateur. La rotation de la turbine n'est pas constante alors que la rotation de la génératrice doit rester constante car le courant produit doit avoir une fréquence régulière dans le temps. Un injecteur de section rectangulaire sert à régler le débit grâce à son aube profilée rotative.

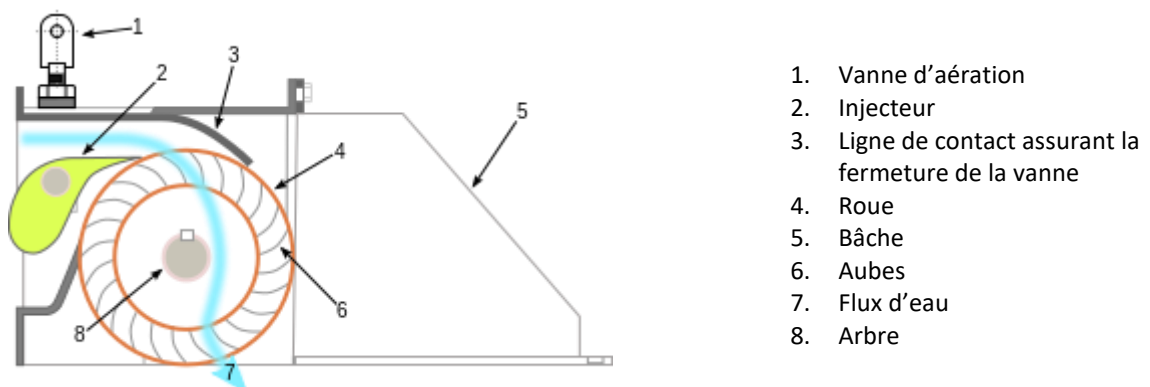


Figure 8 Turbine Banki/Crossflow/Ossberger

Turbines à réaction

Francis

Pour ce modèle de turbine (Figure 9), l'eau est guidée autour des pales par une bêche et des aubes directrices. Du fait de la différence de hauteur entre l'amont et l'aval de la turbine, une dépression se crée et aspire l'eau. Les turbines Francis utilisent la vitesse de l'eau en rotation et la dépression pour faire tourner la roue.

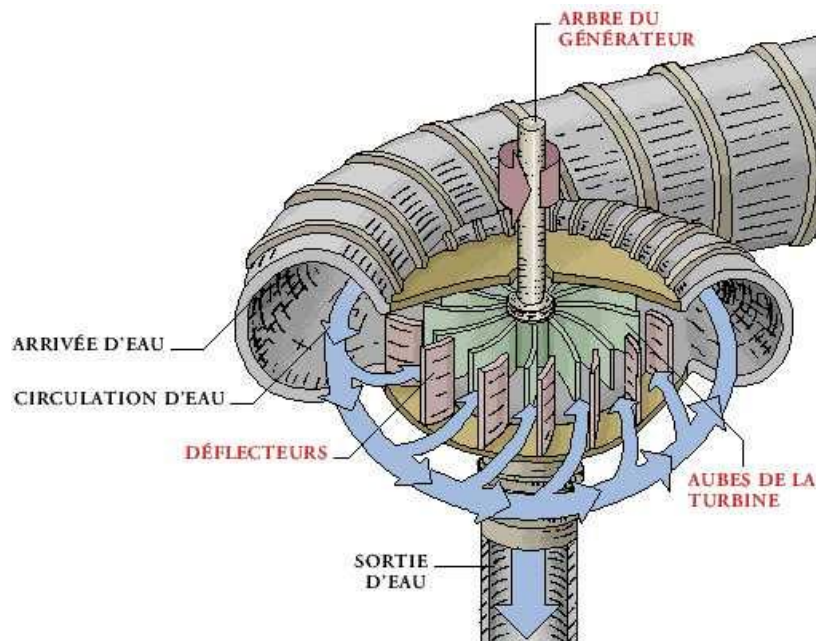


Figure 9 Turbine Francis

Kaplan

La turbine Kaplan (Figure 10 et Figure 11) est une évolution de la turbine Francis. Elle fonctionne de la même manière mais à la différence près que l'orientation de ses pales peut être modifiée et n'est pas dans le même plan. L'écoulement de l'eau est radial dans le distributeur comme pour la turbine Francis. En revanche, dans la roue, l'écoulement se fait de manière axiale. Les pales de la turbine Francis sont alignées sur le plan vertical comme nous le voyons sur la Figure 9. Les turbines Kaplan (Figure 10) ont des pales orientées horizontalement et c'est cette orientation qui donne un écoulement axial. Grâce à cette particularité, elle s'adapte mieux aux différentes variations de débits. Une autre évolution leur a été apportée, il s'agit des directrices qui sont des pièces métalliques qui permettent de mieux guider l'eau sur les pales. Elles permettent donc de fonctionner avec des débits encore plus faibles. Les pales ou les directrices peuvent être soit fixes, soit mobiles en fonction des caractéristiques du site. Lorsque les débits sont variables, avec des pales et des directrices mobiles, il est possible de turbiner jusqu'à 15 % du débit maximal. Plus le débit est constant, plus les pales et directrices peuvent être fixes.

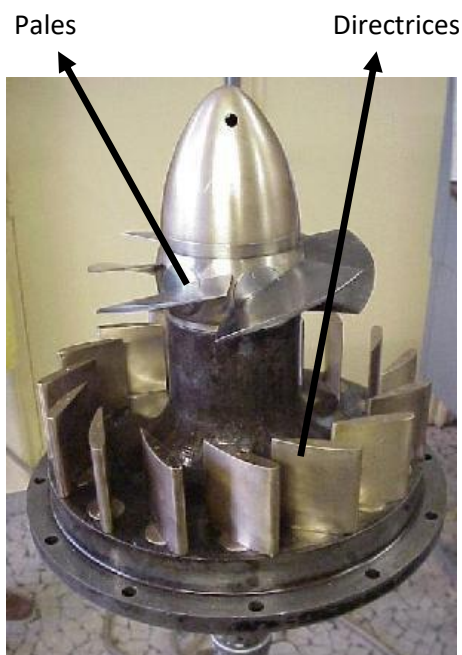


Figure 10 Turbine Kaplan

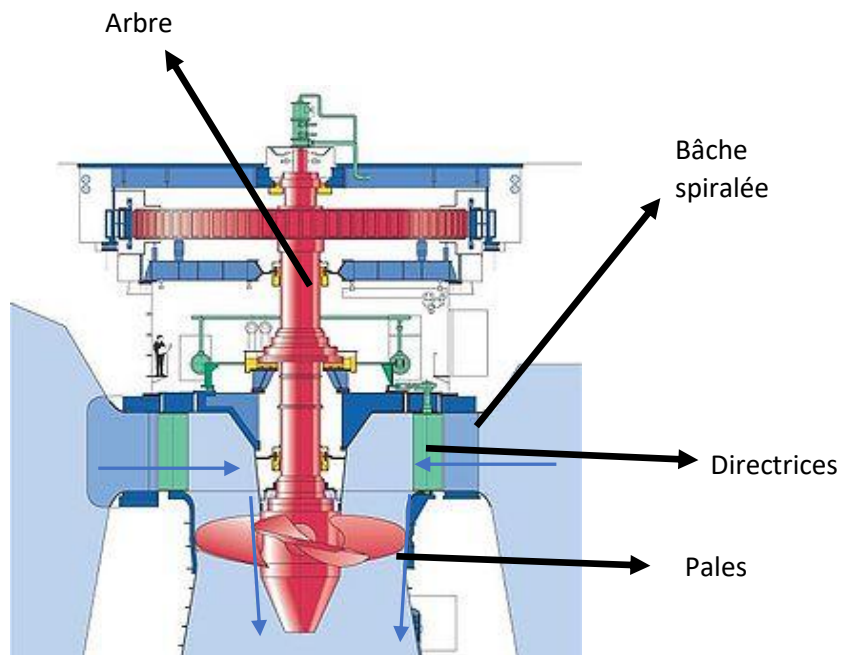


Figure 11 Turbine Kaplan

Turbines ichtyocompatibles

Récemment, un nouveau type de turbine a fait son apparition. Il s'agit des turbines ichtyocompatibles ou fish-friendly. Leur fonctionnement est pensé pour ne plus faire de dégâts aux populations piscicoles. Il en existe deux types qui sont la vis d'Archimède et la turbine VLH [4].

Vis d'Archimède

Ce type de vis est employé depuis des siècles afin de faire remonter de l'eau pour subvenir aux besoins de l'irrigation. Elle est toujours utilisée comme pompe car sa grande taille et sa faible vitesse de rotation permettent de déplacer les objets se trouvant dans l'eau. Actuellement, elle est également placée sur des rivières afin de produire de l'électricité. La vis, qui possède une faible vitesse de rotation, doit être couplée à un démultiplicateur pour produire du courant. Des études ont montré que ce type de turbine ne présente presque aucun danger pour les poissons. L'eau reste à pression atmosphérique durant tout son passage et les poissons ne se retrouvent pas à sec dans les compartiments de la vis. Une grille est tout de même placée en amont de la vis pour éviter aux trop gros objets de venir l'endommager même si ceux-ci ne pourraient pas la bloquer

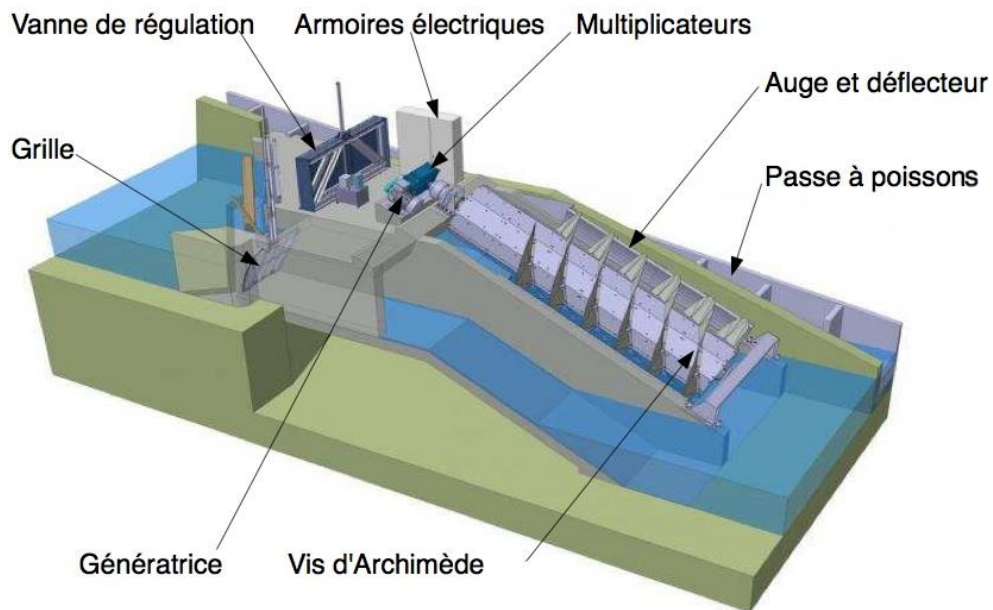


Figure 12 Vis d'Archimède

Turbine VLH

Cette turbine n'est pas conçue comme les autres. En effet son diamètre est relativement grand et les ouvrages d'amenée et de fuite sont diminués au maximum. Ce type de turbine est plus rentable économiquement pour de faibles chutes car les travaux de génie civil sont réduits par rapport aux autres types de turbine vus précédemment. Sa faible vitesse de rotation protège la faune qui passerait entre les mailles de la grille.

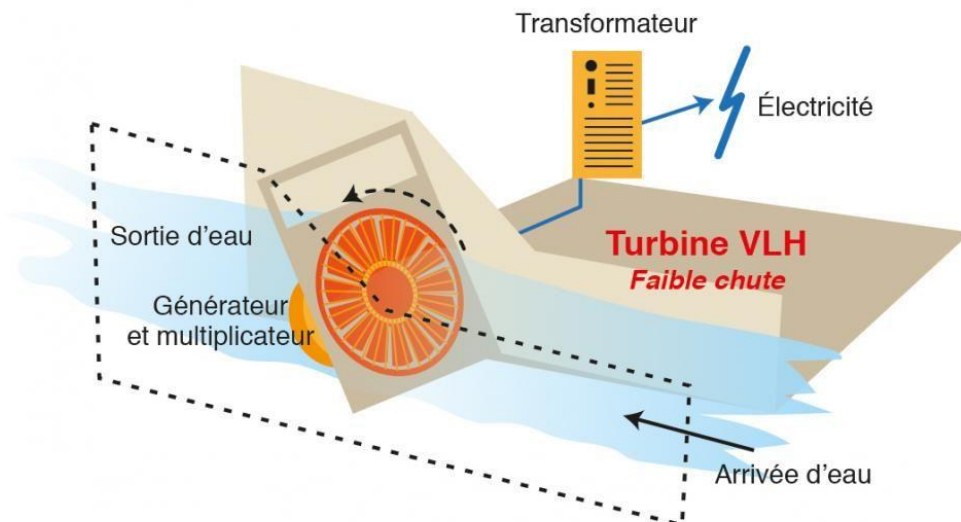


Figure 13 Turbine VLH

4. Mode de fonctionnement

Niveau amont constant

Une centrale à niveau constant fonctionne selon le débit de la rivière, elle ne possède pas de réserve. Un barrage est installé en amont ainsi qu'un dispositif pour le débit réservé. Une vanne peut être positionnée afin de pouvoir lâcher plus d'eau dans le bras de la rivière si nécessaire. Le barrage sert à garder théoriquement un niveau amont constant dans le bief d'amenée. Ce niveau amont constant permet de turbiner une grande partie de l'année en fonction du débit instantané. Elles fonctionnent donc en continu tant que le débit de la rivière est suffisant pour faire tourner les turbines.

Pour ces centrales, deux types sont à définir [5]. Tout d'abord, il y a les centrales n'ayant pas de canal de dérivation pour amener l'eau vers la turbine (Figure 14). La prise d'eau se fait directement au droit du barrage qui crée la chute d'eau. L'eau est uniquement court-circuitée durant la chute et le passage dans la turbine. Le reste du temps, elle ne quitte pas le lit de la rivière.

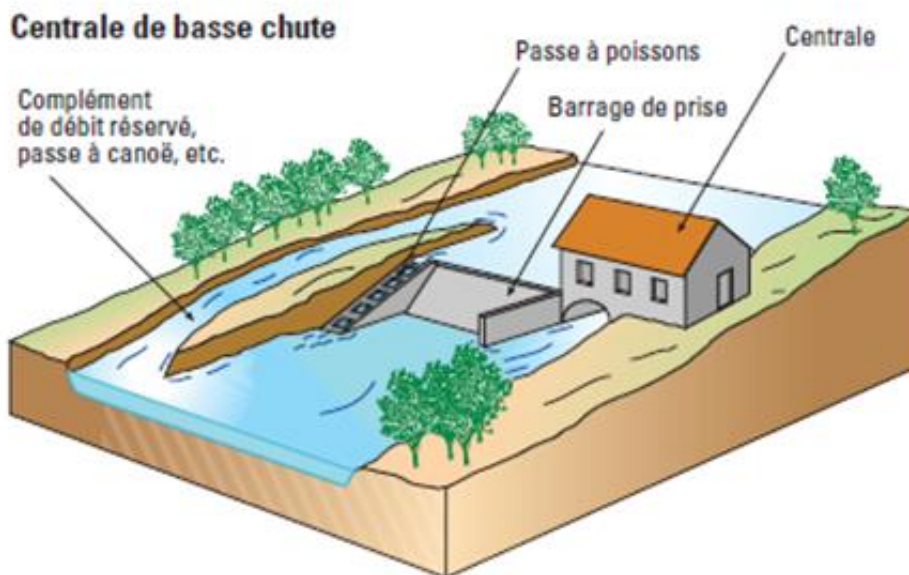


Figure 14 Centrale à niveau amont constant sans dérivation

Le deuxième type (Figure 15) utilise quant à lui un canal de dérivation. Un barrage est construit plus en amont et la prise d'eau se fait à ce niveau-là. Comme le canal d'amenée a une pente plus faible que celle de la rivière, une différence de hauteur est exploitable par la centrale. Les hauteurs de chute sont plus importantes que pour les centrales sans dérivation.

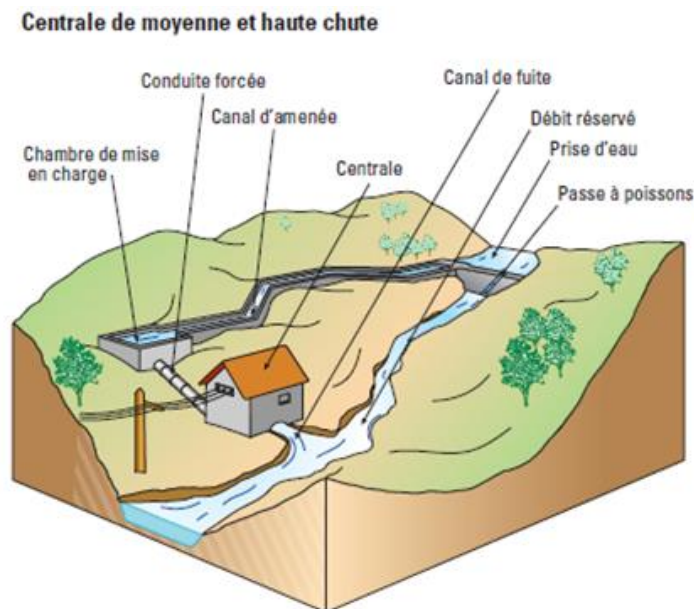


Figure 15 Centrale à niveau amont constant avec canal de dérivation

Eclusée

Une centrale fonctionnant par éclusée tourne en continu tant que le débit dans le canal d'amenée est supérieur au débit turbinable. Lorsqu'il tombe en dessous, le barrage aura alors le rôle de réserve d'eau. Une fois la quantité d'eau stockée suffisante, la turbine se remet en marche jusqu'à ce que la réserve soit épuisée. Si les lâchés d'eau sont assez espacés par rapport aux mesures de débit qui peuvent être faites plus en aval, il est possible d'observer ces variations de débit. Les variations de débit dans la rivière sont plus importantes que celles que nous pouvons retrouver naturellement au cours du temps. La puissance installée est souvent plus élevée que pour une centrale à niveau amont constant sur un même site. C'est ce mode de fonctionnement qui a fait l'objet des Arrêtés ministériels de 2019 et 2020.

Impacts sur la faune et la flore

Un des impacts majeurs des barrages des centrales hydroélectriques sur les rivières est la perturbation de la circulation des poissons. Elles constituent un barrage à leur progression. Celles qui fonctionnent par écluse laissent passer un débit trop faible ou trop élevé par moment. Ce mode de fonctionnement sera détaillé par la suite.

Selon le propriétaire de la centrale de la Scierie d'en Haut sur la Lhomme, les centrales peuvent avoir plusieurs avantages. En effet, grâce aux remous de l'eau, il y a une meilleure oxygénation. Ensuite, les dégrilleurs installés juste avant le canal d'amenée vers la turbine récupèrent les plus gros déchets qu'ils soient naturels (branches, feuilles, ...) ou artificiels (canettes, bouteilles, ...). Une fois ceux-ci récupérés, ils peuvent être évacués par le propriétaire du lieu ou être remis dans la rivière.

1. Impacts

Les impacts sur les populations piscicoles sont les plus étudiés et de par ce fait, les mieux mis en évidence. Une centrale hydroélectrique peut influencer la vie des poissons :

- Sur la dévalaison ou la montaison en période de migration.
- Sur les poissons sédentaires par un manque d'eau

Blocage de la circulation

Les barrages de retenue d'eau sont les obstacles les plus en amont par rapport à la centrale. C'est à partir de cet endroit qu'une partie du cours de la rivière est déviée. Malheureusement, l'eau restant dans le lit de la rivière n'est pas toujours suffisante pour permettre aux poissons de franchir le barrage. La centrale en elle-même est similaire aux barrages en termes de blocage de circulation. [6]

Si rien n'est mis en place, il peut y avoir une chute de la population piscicole et parfois la disparition de certaines espèces.

Turbine

Les poissons effectuant des mouvements migratoires, que ce soit dévalaison ou montaison, sont parfois entraînés dans le canal d'amenée car c'est là que se trouve le débit le plus important. Ils risquent de passer à travers les barreaux du dégrilleur, les poissons sont alors attirés vers la turbine et c'est là que les plus gros dégâts peuvent survenir. En effet, ils peuvent être gravement blessés voir même tués pendant leur passage dans la turbine. Ensuite, les grosses différences de pressions qui peuvent se présenter, les impactent également. Ces brusques différences de pression peuvent créer des lésions internes voir même une rupture de la vessie natatoire. Dans ce cas, le poisson ne peut plus adapter la densité de cette vessie et n'est dès lors plus capable de modifier sa profondeur de nage.

Le phénomène de cavitation qui sera expliqué plus loin dans ce travail, est fort important. En plus d'être mortel dans certains cas pour les poissons, il peut dégrader au point de détruire les turbines à réaction.

De plus, les contacts physiques avec les pâles ou autres objets de la structure sont tout aussi dangereux.

Débit

Il existe deux types d'impacts concernant le débit dans le cours d'eau. Premièrement, en période d'étiage, une grande partie de l'eau de la rivière est déviée afin de pouvoir assurer une production hydroélectrique. L'eau restant disponible pour les poissons résidant entre le barrage et le canal de fuite de la centrale peut être insuffisante. Ce type d'impact est spécifique aux centrales équipées d'un bief de dérivation. Cela modifie l'habitat et diminue l'écosystème des espèces y vivant. De plus, le faible débit peut ne pas suffire à attirer les poissons remontant la rivière. Ils seront donc tentés de se diriger vers la turbine où la quantité d'eau est plus importante, avec tous les risques liés.

Deuxièmement, le mode de fonctionnement de la centrale joue un rôle également. Une centrale en écluse n'offre pas un débit constant à la rivière. Notamment en période de basses eaux, le niveau en aval de la centrale baisse fortement pour assurer la réserve d'eau. Ces périodes de basses eaux ont lieu sur quelques heures de temps. Que ce soit pour les populations sédentaires ou migrantes, le manque d'eau ne permet pas de subvenir à leurs besoins. Ensuite, au moment du turbinage, le débit d'eau augmente brusquement et peut avoir l'effet de chasse d'eau. Les poissons les plus fragiles et autres organismes benthiques sont emportés par le courant. Tout cela conduit à un appauvrissement de la rivière.

Concernant la flore, les effets d'une centrale sont plus compliqués à étudier mais ne sont sûrement pas inexistantes. Par exemple, les racines de certaines espèces étant à l'air libre au moment de la retenue d'eau par les centrales en éclusées peuvent se retrouver sous eau pendant la période de turbinage. Ce qui peut également poser problème, ce sont les variations de débit plus fortes que la normale. Nous parlons alors d'hydropiking. Ce phénomène consiste en une forte variation de débit positive ou négative dans un court laps de temps. Une variation positive peut avoir le même effet que sur les poissons et emporter tout sur son passage.

Effet cumulatif

Sur certains cours d'eau, il existe une multitude de centrales. Cet enchaînement d'obstacles non naturels peut fatiguer davantage les poissons au moment des migrations. Chaque barrage et centrale ont un impact important sur ces espèces. De plus, comme expliqué précédemment, chaque passage dans une turbine peut induire un certain taux de mortalité. L'enchaînement de turbines peut avoir des conséquences considérables sur le nombre de poissons franchissant toutes ces centrales.

2. Solutions

Toutes les solutions apportées sont un compromis entre leur coût, les bénéfices pour l'environnement et les pertes pour les exploitations hydroélectriques. Selon certains biologistes, tout ce qui est mis en place est une bonne conciliation mais ce ne serait pas encore suffisant pour garantir une vie normale aux habitants des cours d'eau. Lors des décisions, une grande partie des acteurs des cours d'eau sont présents ou du moins sondés pour avoir leur avis. Il n'y a pas que l'administration et les exploitants de centrales hydroélectriques. Il y a aussi le monde de la pêche, les associations, les riverains, les organes consultatifs, etc.

Turbines ichtyocompatibles

Depuis plusieurs années, les impacts sur les poissons sont pris en compte dans la confection des turbines afin qu'elles deviennent une voie de passage sûre vers l'aval. Deux options sont envisageables.

- Des aménagements sont construits pour empêcher les poissons d'accéder à la turbine.
- Des turbines moins dangereuses sont installées. Nous pouvons citer les turbines VLH (Very Low Head) qui sont conçues pour minimiser l'impact sur les poissons et exploiter de basses chutes. Ou encore, la vis d'Archimède (Figure 16) qui présente l'avantage de contenir de petites réserves d'eau tout au long de la rotation. La faune est donc amenée vers le bas de la chute dans une de ces réserves.



Figure 16 Vis d'Archimède

Echelles à poissons

Une échelle ou passe à poissons est un dispositif permettant aux différentes populations piscicoles de remonter ou descendre un obstacle sur la rivière. Dans le cas d'une installation hydroélectrique, ce n'était pas obligatoire. Peu de propriétaires de centrale en installaient car cela nécessite de dévier une partie de l'eau pouvant être utile au fonctionnement de la centrale. C'est une perte de potentiel d'énergie et donc d'argent pour eux. De plus, dans certains cas, cela peut demander des travaux de terrassement. Au vu du coût et de sa non-obligation, les propriétaires ne sont pas encore tous convaincus par l'utilité de la mise en place de ce type de structure. Sur les nouvelles centrales, leur installation est obligatoire.

Dans la centrale Waldor située sur le Hoyoux, juste avant le dégrilleur de la centrale, il y a deux canaux à deux profondeurs différentes. Ainsi, toutes les espèces peuvent descendre par ce conduit et ne passent donc pas par la turbine.

Arrêtés ministériels

Ces dernières années, en période d'étiage, des Arrêtés ministériels sont apparus afin de limiter ou interdire la production hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables de Wallonie. Durant l'année 2018, il y a eu deux périodes avec interdiction de turbinage. Entre le 08 août et le 24 septembre 2018, toutes les centrales ont été interdites de turbinage. Seules celles implantées sur les grands barrages-réservoirs ont pu continuer à tourner normalement. En revanche, entre le 26 octobre et le 05 décembre 2018, uniquement les centrales fonctionnant en écluse ont théoriquement été bloquées. Toutes celles fonctionnant à niveau amont constant et installées au fil de l'eau ont pu tourner.

En 2019, l'arrêt de toutes les centrales hydroélectriques hormis celles des grands barrages-réservoirs a eu lieu à partir du 10 juillet. Le 23 juillet, un Arrêté modificatif vient le corriger et autorise le fonctionnement des centrales à niveau amont constant et installées au fil de l'eau. Cette interdiction prend fin le 28 novembre.

Enfin, en 2020 seules les centrales fonctionnant en écluse ont leur production arrêtée entre le 6 juillet et le 21 octobre.

Ces différents Arrêtés avaient pour objectif de limiter un éventuel impact des centrales hydroélectriques sur le débit des cours d'eau et donc la faune et la flore. Tous ces Arrêtés ministériels sont repris dans les annexes.

Code de l'Eau

Débit réservé

Le débit réservé est une obligation venant du décret du 04 octobre 2018 (Art. D. 33/11) [7]. Ce décret est intégré au Code de l'Eau. Ce débit doit garantir une quantité d'eau minimum dans la rivière pour permettre la vie des poissons. De plus, cet article demande d'installer des dispositifs empêchant les espèces animales de pénétrer par les canaux d'amenée et de fuite d'eau.

La valeur du débit réservé est calculée avec le percentile 95 (P95). Cela correspond à la valeur du débit atteint ou dépassé 347 jours par an. Plus la période pour le calculer est longue, plus la valeur sera correcte car elle ne tiendra pas compte des aléas de courte durée. Afin de parvenir à ce résultat, il faut réaliser une courbe de débits classés. Enfin, pour obtenir le P95, il suffit de regarder la valeur de débit indiquée au niveau du pourcentage souhaité, 95 dans ce cas-ci, et cela nous donne la valeur du débit réservé.

Suppression des obstacles

Selon l'Art. D. 33/10 du Code de l'Eau [7], il est interdit depuis 04 octobre 2018 de créer des nouveaux obstacles dans le lit mineur d'un fleuve sans prévoir une solution de secours pour les espèces animales. De plus, les obstacles considérés comme majeurs ou infranchissables doivent faire l'objet de travaux d'aménagement ou être supprimés. Les obstacles mineurs et importants ne nécessitent pas d'adaptation pour le moment.

Méthodologie utilisée

1. Rivières

Afin de définir sur quels cours d'eau nous pencher, nous nous sommes reposés sur les connaissances du Dr. Sébastien Erpicum et nous avons également contacté Madame Johanna D'Hernoncourt qui travaille à l'APERe. Nous avons repéré sur la carte (Figure 17) ci-dessous [8] les rivières possédant une ou plusieurs stations de mesures de débit et de hauteur.

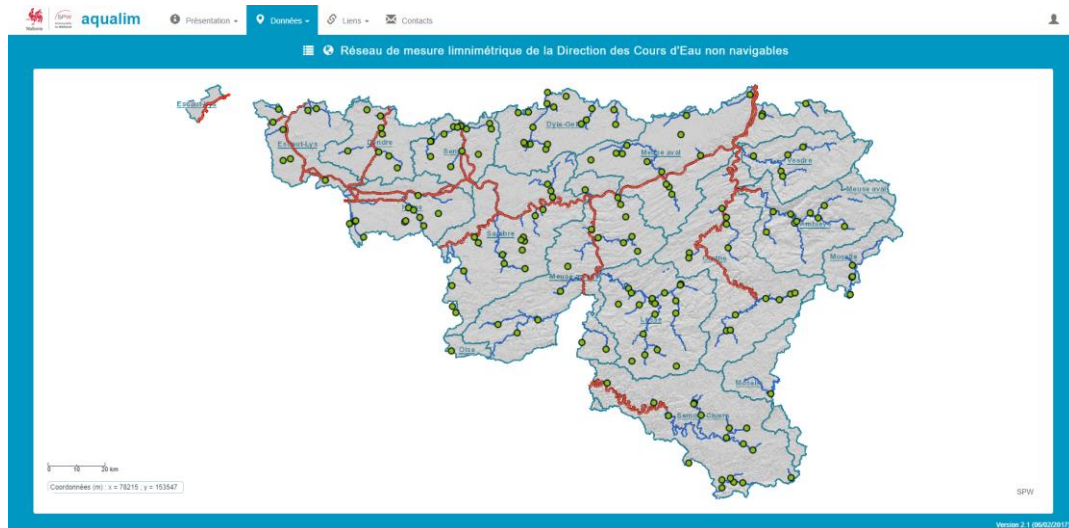


Figure 17 Carte des stations de mesures de débit

Ensuite, les stations de mesures devaient posséder des données disponibles sur plusieurs années et pas seulement celles concernées par l'interdiction de turbinage. Ces arrêtés ont été détaillés précédemment.

Enfin, nous avons recherché des petites centrales hydroélectriques sur des rivières non navigables de Wallonie. En recoupant nos sélections, nous sommes arrivés à une liste de plusieurs rivières dans 3 provinces différentes. Les centrales hydroélectriques devaient se trouver à une distance raisonnable des stations de mesures.

2. Localisation des sites

Après avoir réfléchi sur les sites intéressants à exploiter dans ce travail, nous avons collecté des informations sur ceux-ci. Dans un premier temps, nous localiserons chacune des centrales et stations de mesures sur une carte de la Région wallonne. Les coordonnées des centrales ont été fournies par le SPW (Service Public de Wallonie) dans une liste de recensement qu'ils ont réalisée et mettent à jour régulièrement. Afin de situer au mieux les stations de mesures, leurs coordonnées sont disponibles sur Aqualim dans la fiche signalétique de la station.

Par la suite, les centrales et stations de mesures présentes sur les rivières seront détaillées. Pour les centrales dont les informations n'ont pas été communiquées par les propriétaires, nous nous sommes basés sur une liste réalisée par le SPW [9]. L'objectif était de connaître le type des turbines, la hauteur de chute, la puissance installée et le débit turbinable. Dans l'idéal, il nous faudrait le débit minimum turbinable et surtout un historique de production.

3. Calendrier de turbinage

Le calendrier se base sur les historiques de production lorsque ceux-ci sont disponibles. Durant les trois années pendant lesquelles les Arrêtés ministériels ont été mis en place, il est indispensable de savoir quelle centrale a fonctionné afin de déterminer les périodes d'analyse.

4. Pluviométrie

Avant de passer aux analyses de débit, il est nécessaire d'avoir des informations quant à la pluviométrie durant les années étudiées. Un calendrier annuel des précipitations permet de visualiser les années fortement pluvieuses. En revanche, un focus sur le mois d'août nous montre s'il y a eu des orages ou autre événements ponctuels pouvant influencer le débit des rivières.

5. Méthode d'analyse des données

Afin de mieux se rendre compte de l'impact potentiel d'une centrale, il est intéressant de comparer les hydrogrammes et les histogrammes des gradients de débit d'une station de mesure non-impactée par des centrales et une station de mesure en aval de centrales. S'il y a moyen, il faudrait pouvoir réaliser cette comparaison sur une même rivière.

Pour réaliser cette analyse des données, deux méthodes que sont la courbe de débits classés et l'analyse par gradient ont été choisies. La courbe de débits classés est relativement simple à mettre en place. Nous avons sélectionné une période de deux semaines pendant lesquelles toutes les centrales ont été théoriquement à l'arrêt en 2018 et uniquement celles fonctionnant en éclusée en 2019 et 2020. Durant ce laps de temps, nous avons classé les débits par ordre décroissant. Ensuite nous avons réparti un pourcentage d'apparition à chaque débit. Le pourcentage minimum a été attribué au débit le plus élevé et 100 % au débit le plus faible. A partir de là, nous avons tracé le graphique avec les pourcentages en abscisse et les débits en ordonnée.

Ensuite, concernant la méthode prenant en compte les gradients, pour la même période, nous avons calculé le gradient entre chaque donnée de débit. Le gradient est la différence entre une valeur de débit et la valeur précédente. Par après, en fonction des valeurs maximale et minimale des gradients, nous avons défini des classes. Ces classes servent à sortir un histogramme des fréquences permettant de visualiser la répartition des gradients. Plus ces gradients sont éparpillés, plus la variation de débit est importante. Les écarts-types peuvent nous indiquer cette répartition. Plus ceux-ci sont faibles, plus les gradients sont centrés autour de zéro. En revanche, plus les écarts-types sont élevés, plus les gradients sont espacés du zéro. Sur chacun des histogrammes, les fréquences sont représentées en bâtonnets bleus et la courbe orange représente les fréquences cumulées en pourcentage.

D'autres paramètres statistiques sont intéressants afin de quantifier la différence entre les histogrammes de chaque année. Nous utilisons l'asymétrie et l'aplatissement par rapport à une loi normale. Avant de calculer ces paramètres, il faut s'assurer que nous pouvons comparer ce jeu de données avec une loi normale [10]. Avec l'aide Monsieur De Rudder (professeur de statistiques à l'Uliège), nous avons réalisé cette analyse statistique.

L'asymétrie correspond à la symétrie de la courbe autour de la moyenne. S'il y a une asymétrie positive, les observations se concentrent plus du côté des valeurs faibles. En revanche, un coefficient négatif indique des observations situées vers des valeurs plus élevées.

Le coefficient d'aplatissement compare la courbe d'un graphique avec la courbe d'une loi normale. Si l'aplatissement est positif, il y a alors un pic moins plat et des extrémités plus épaisses par rapport à une courbe normale. Un coefficient négatif signifie que la courbe sera plus aplatie qu'une loi normale.

Après avoir analysé de façon visuelle les histogrammes de gradients et les courbes d'écart-types, deux analyses statistiques sont possibles. Premièrement, avec l'aide Monsieur De Rudder, nous avons testé une ANOVA. Cela consiste à comparer les variances des gradients des années avec turbinage entre elles. Ensuite, à faire la même opération pour les années sans turbinage. Pour finir, nous avons comparé les variances de toutes les années ensemble afin de déceler une éventuelle variation.

La seconde méthode consiste à faire un F-test. Ce test compare les variances entre deux jeux de données. L'hypothèse de départ (H_0) est que les variances entre les deux périodes sont égales. La valeur du F-test nous indiquera le pourcentage de confiance pour que H_0 soit vraie. Pour ce travail, nous avons confronté les années avec turbinage aux années sans turbinage.

Résultats

1. Choix des rivières

Après la phase de réflexion, nous sommes parvenus à identifier les rivières qui nous semblaient les plus pertinentes. Parmi nos choix, nous pouvons citer le Burnot qui est depuis longtemps utilisé. En effet, avant l'installation de la centrale hydroélectrique, nous pouvions y trouver une forge. La centrale est en fonctionnement depuis 2006. La station de mesure de débit se trouve quelques mètres après la rencontre entre le bief de fuite et le tracé originel de la rivière. Ainsi, les valeurs mesurées ne peuvent être perturbées.

Ensuite, la Lhomme possède plusieurs stations de mesures. Au niveau de Poix-Saint-Hubert, il existe 5 centrales hydroélectriques sur quelques kilomètres de rivière. La dernière, la plus récente, fut installée en 2002. En revanche, certaines sont exploitées pour une production d'électricité depuis plus de 50 ans. Précédemment, nous y retrouvions des scieries.

Par après, nous nous sommes basés sur les conseils de Madame Johanna D'hernoncourt pour choisir la Mehaigne et la Vesdre. Selon elle, ces cours d'eau sont intéressants car ils possèdent au moins une centrale en éclusée et certaines variations de débits sont visibles sur ceux-ci.

Enfin, le Hoyoux fut notre dernier choix. Ayant déjà eu l'occasion de travailler sur cette rivière, l'expertise de Monsieur Epicum a été fortement utile.

2. Cartes des stations de mesures et des centrales hydroélectriques

Ci-après se trouve une série de carte, elles nous permettent de mieux visualiser où se situent les stations de mesures par rapport aux centrales hydroélectriques choisies. Les points rouges reprennent les centrales tandis que les ronds bleus localisent les stations de mesures présentes depuis plusieurs dizaines d'années. Les losanges bleus définissent les localisations des stations de mesures installées dans les arbres bien plus récemment. Il y en a deux qui sont reprises ici, une sur la Mehaigne et une sur le Hoyoux. Elles sont placées entre les deux centrales hydroélectriques.

Sur le site internet d'Aqualim, dans l'onglet fiche signalétique, nous retrouvons une information intéressante. Il s'agit de la stabilité de la station de mesure par rapport aux jaugeages. Le jaugeage est une mesure manuelle de la vitesse du courant. Elle est prise en plongeant un moulinet qui va tourner plus ou moins vite en fonction de la vitesse de l'eau. Le moulinet est plongé à différentes profondeurs et distances de la berge afin d'avoir une mesure la plus détaillée possible du champ de vitesse. Grâce à ces mesures, il est maintenant possible de calculer une courbe de tarage. Cette courbe met en relation la hauteur d'eau et le débit d'une rivière. La hauteur d'eau sert à intégrer le champ des vitesses afin de calculer le débit. Les stations limnimétriques mesurent une hauteur d'eau et la courbe de tarage nous donne automatiquement le débit associé. Selon la Région wallonne, dix jaugeages sont réalisés chaque année par station de mesure. Ces jaugeages sont importants car ils permettent de vérifier et de contrôler les courbes de tarage. Une bonne stabilité assure la pertinence des mesures de débit qui sont disponibles sur Aqualim. Si une panne ou anomalie survenait au niveau d'une station de mesure, les données ne seraient plus fournies. Ce choix permet de ne pas garder en mémoire des données qui seraient erronées.

Toutefois, il faut savoir que cette stabilité est une approximation de la réalité. Il peut survenir plusieurs erreurs mais deux sortent du lot.

Premièrement, lors de la mesure de vitesse, il peut y avoir des variations dues à tout ce qui se trouve dans la rivière. Les plantes, algues et pierres peuvent modifier le comportement de l'eau. Elle peut être ralentie en passant dans des algues par exemple. C'est pour cela que plusieurs de jaugeages sont réalisés chaque année.

Deuxièmement, une rivière n'est pas un rectangle parfait. Au moment d'intégrer la vitesse avec la section pour obtenir un débit, d'autres erreurs d'approximation surviennent. Les berges et le fond sont complètement irréguliers, l'intégrale nous donne un aperçu de cette section.

Voici la carte (Figure 18) reprenant les centrales et stations de mesures utiles à ce travail. Nous pouvons voir qu'elles ne se situent pas toutes dans la même région. De plus, certaines stations de mesures se trouvent aux alentours de la ou des centrales hydroélectriques tandis que d'autres sont plus espacées.

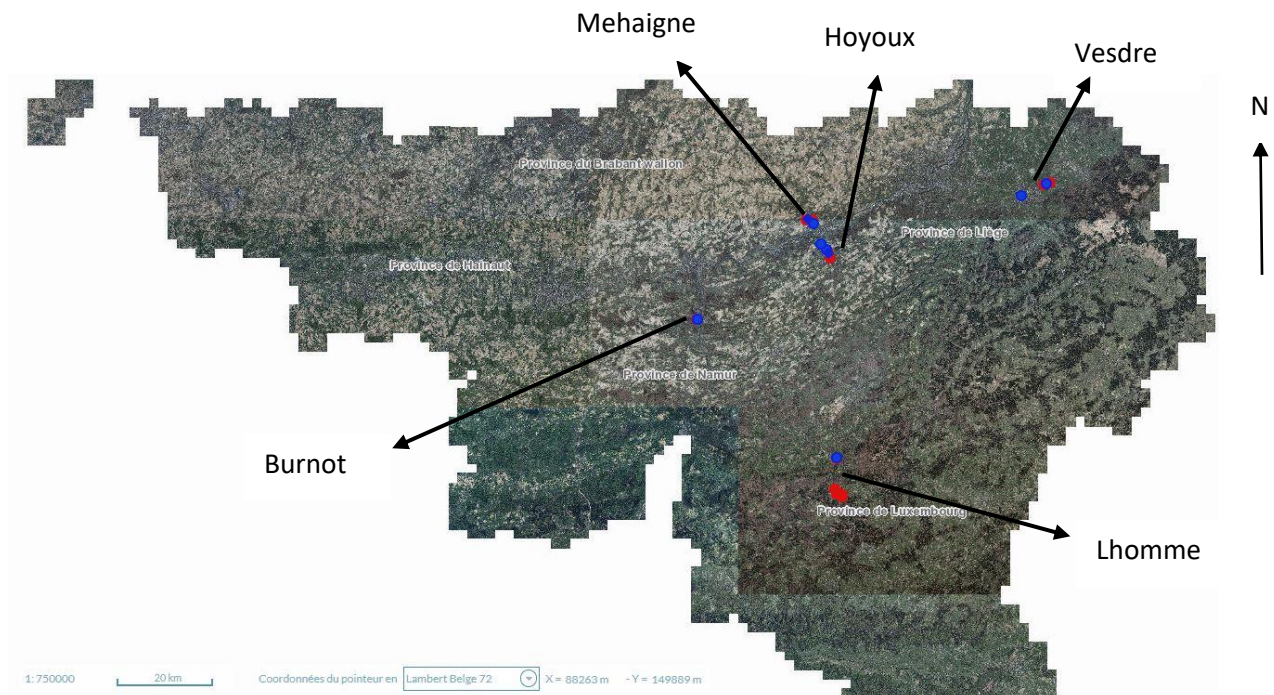


Figure 18 Carte des stations de mesures de débit et centrales hydroélectriques

- Centrales hydroélectriques
- Stations de mesures

Le Burnot

Sur la carte ci-dessous (Figure 19), nous pouvons visualiser la proximité entre la centrale hydroélectrique et la station de mesure en aval. Il y a moins de 100 m entre les deux. La station de mesure présente sur le Burnot est stable par rapport aux jaugeages. Elle a été mise en fonctionnement en juillet 1991, offrant donc une plage de données plutôt large dans le temps.

L'équipement de la centrale est fait à partir d'une turbine Crossflow de 6,2-6,3 kW de puissance. Le débit turbinable est de 0,3 m³/s pour une chute d'à peu près 4 m, elle fonctionne à niveau amont constant et tourne depuis 2006. Le débit minimum est d'à peu près un sixième du débit nominal. C'est-à-dire 0.05 m³/s pour la turbine de Burnot [11].

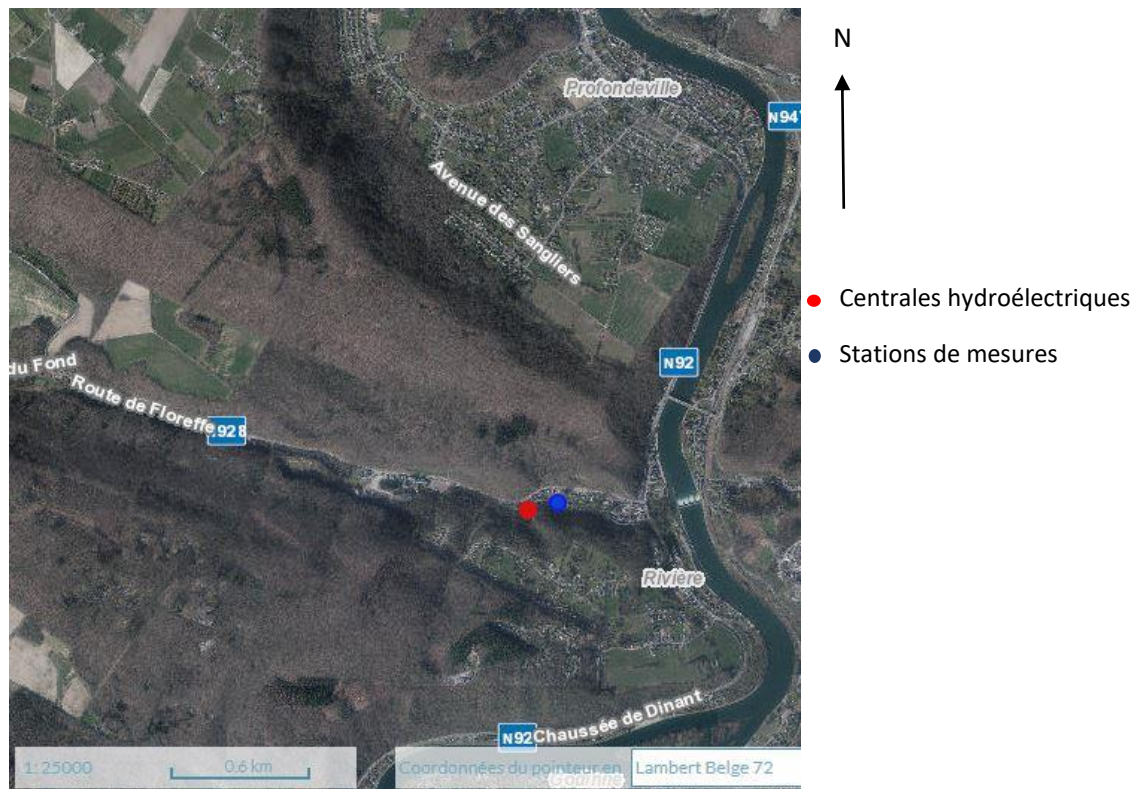


Figure 19 Le Burnot

Le Hoyoux

Le Hoyoux présente la particularité de posséder deux stations de mesures de débit en aval de deux centrales (Figure 20). La première des deux est située à 300 m de la centrale la plus en aval. La deuxième station se trouve 3 km plus en aval. Entre ces deux stations, un projet d'une nouvelle centrale a débuté en 2019 mais n'a pas encore abouti.

La première centrale, celle en amont, est en place depuis 2008. Elle est équipée d'une turbine Kaplan de 1,7 m³/s en débit nominal et pouvant fournir une puissance de 45 kW. La turbine peut absorber un débit de 15 % du débit nominal grâce à des pales qui peuvent se rétrécir et des directrices qui s'orientent en fonction du débit. La hauteur de chute est de 3,2 m. Un bras de dérivation a été créé afin d'augmenter la chute. [12]

La seconde centrale hydroélectrique, celle en aval, est entrée en fonctionnement en 2008. La hauteur de chute mesure 4 m. Nous retrouvons une turbine Francis de 67 kW de puissance et de débit nominal atteignant 2 m³/s. Si le débit descend en dessous de 30 %, la turbine s'arrête. Entre 30 % et 100 %, les pales peuvent se rétrécir ou s'agrandir pour s'adapter au débit instantané. Elle ne possède pas de dérivation pour créer une chute plus importante. La hauteur de chute n'est faite que par le barrage qui se trouve au niveau de la centrale. [13]

La stabilité des deux stations de mesures est différente. La station de Marchin est stable par rapport aux jaugeages tandis que la station de Marchin Bis n'est pas renseignée. C'est pourquoi nous nous baserons sur les données de la station de mesure de Marchin. Celle-ci, plus en amont, est installée depuis octobre 1982 tandis que la seconde est bien plus récente. Elle nous offre des données depuis février 2014 seulement. Une station de mesure provisoire est installée dans les arbres entre les deux centrales. Elle mesure une variation de hauteur d'eau mais les données n'ont pas de validité garantie et ne sont que purement indicatives.

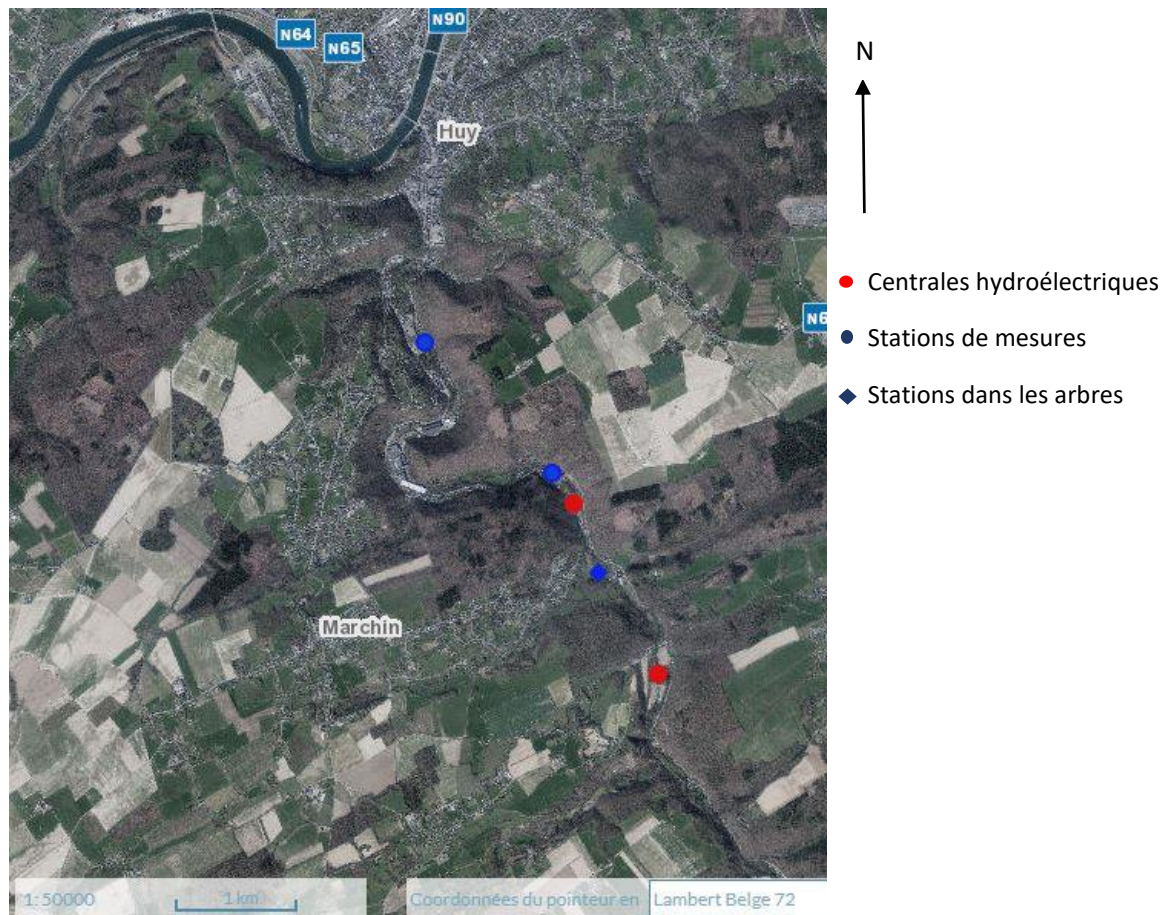


Figure 20 Le Hoyoux

La Lhomme

Sur la Lhomme, il y a une succession de cinq centrales en quelques kilomètres au niveau du village de Poix-Saint-Hubert (Figure 21). La Lhomme a toujours été intéressante pour y installer des usines car elle présente un dénivelé important (84 m sur 6 km). La centrale la plus en amont est ouverte au public. Elle est nommée Scierie d'en Haut et est fonctionnelle depuis 1911. Anciennement, ce bâtiment avait pour vocation d'être une scierie. Avant de produire de l'électricité, elle fut transformée en usine de pâte à papier. Cette centrale est équipée de 2 turbines Banki de 40 kW pouvant turbiner jusqu'à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ chacune. C'est aussi la centrale ayant la chute la plus haute sur la Lhomme, elle mesure 14 m. [14]

Ensuite, nous trouvons la centrale appelée Scierie d'en bas. Comme son nom l'indique, c'est également une ancienne scierie. Ce bâtiment a pris la fonction de production d'électricité depuis 1950. La centrale est actuellement équipée d'une turbine Francis de 30 kW de puissance. La hauteur de chute est plus faible, 4 m. Le débit maximal de la turbine se trouve entre $1,2$ et $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deux autres centrales sont situées sur les sites de Sainte Adeline et Pont-à-Smuid. Ce sont toutes deux d'anciennes fabriques à papier qui ont été reconverties en centrale hydroélectrique au début des années 20. Elles ont respectivement une chute de 6,5 et 8 m. Leurs turbines sont des Francis de 40 et 50 kW.

Enfin, la centrale la plus récente est Hydroval qui a été construite en 2002. Elle est équipée de 2 turbines Banki de chacune 90 kW. Le débit turbiné se situe aux alentours de $1,1 - 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ par turbine pour une chute de 12 m. [15]

La station de mesure est très stable par rapport aux jaugeages. Nous pouvons donc nous fier aux données disponibles. De plus la plage temporelle de données disponibles est intéressante car nous pouvons en obtenir depuis octobre 1991.

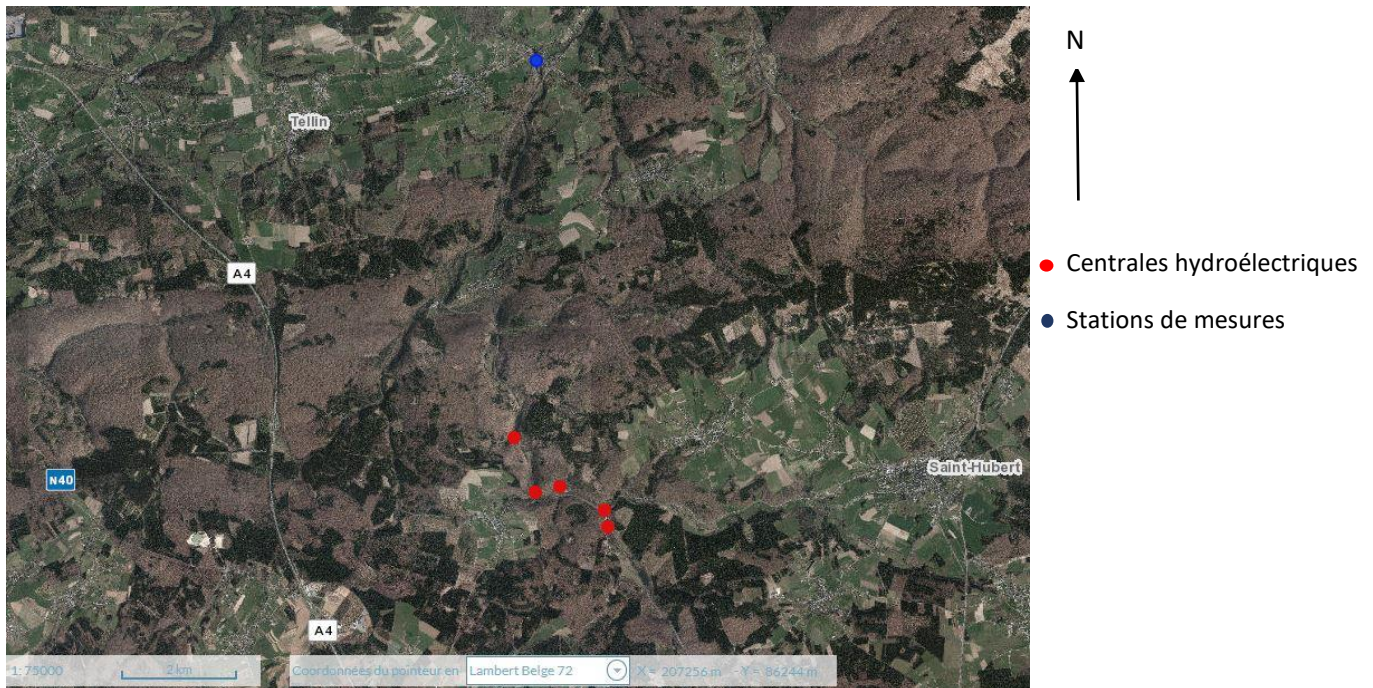


Figure 21 La Lhomme

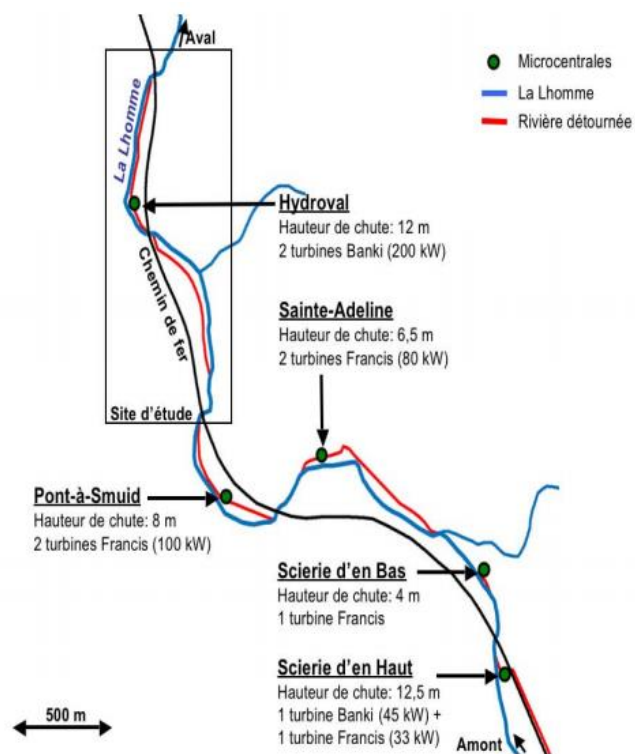


Figure 22 Centrales hydroélectriques : Poix-Saint-Hubert

La Mehaigne

Sur la Mehaigne, deux centrales sont recensées dans la partie aval de la rivière (Figure 23). La centrale en amont tourne au ralenti depuis 2013. Elle ne produit plus que pour subvenir aux besoins de ses propriétaires. Il s'agit d'une centrale avec une turbine Francis et une turbine Kaplan. La puissance est de 22 kW pour une hauteur de chute de 3 m et un débit supérieur à 1,5 m³/s [9].

La centrale en aval est plus récente. Il s'agit d'une vis d'Archimède installée en 2012 au niveau de l'abbaye de Val-Notre-Dame. Elle possède une longueur de 10 m, une hauteur de chute de 3,2 m et un débit nominal de 2 m³/s. La puissance nominale est de 55 kW mais la puissance en fonctionnement se situe aux alentours de 40-45 kW. La centrale fonctionne à niveau amont constant. Une passe à poissons a été construite et les 3,2 m de chute sont esquivés en 16 bassins permettant de combler cette chute. [16]

Une centrale bien plus en amont fonctionnerait en éclusée mais peu d'informations sont disponibles, hormis qu'il s'agit d'une roue à aubes et non pas d'une turbine, la hauteur de chute est de 1,8 m et le débit est de 0,5 m³/s pour une puissance de 7 kW.

Entre les deux centrales, une station de mesure a été installée dans les arbres en 2018. Mais la validité de ces données n'est pas garantie et est purement indicative. Néanmoins, en aval de la deuxième centrale, nous pouvons retrouver une station de mesure installée depuis 1978 qui est stable dans le temps par rapport aux jaugeages qui ont pu être effectués.

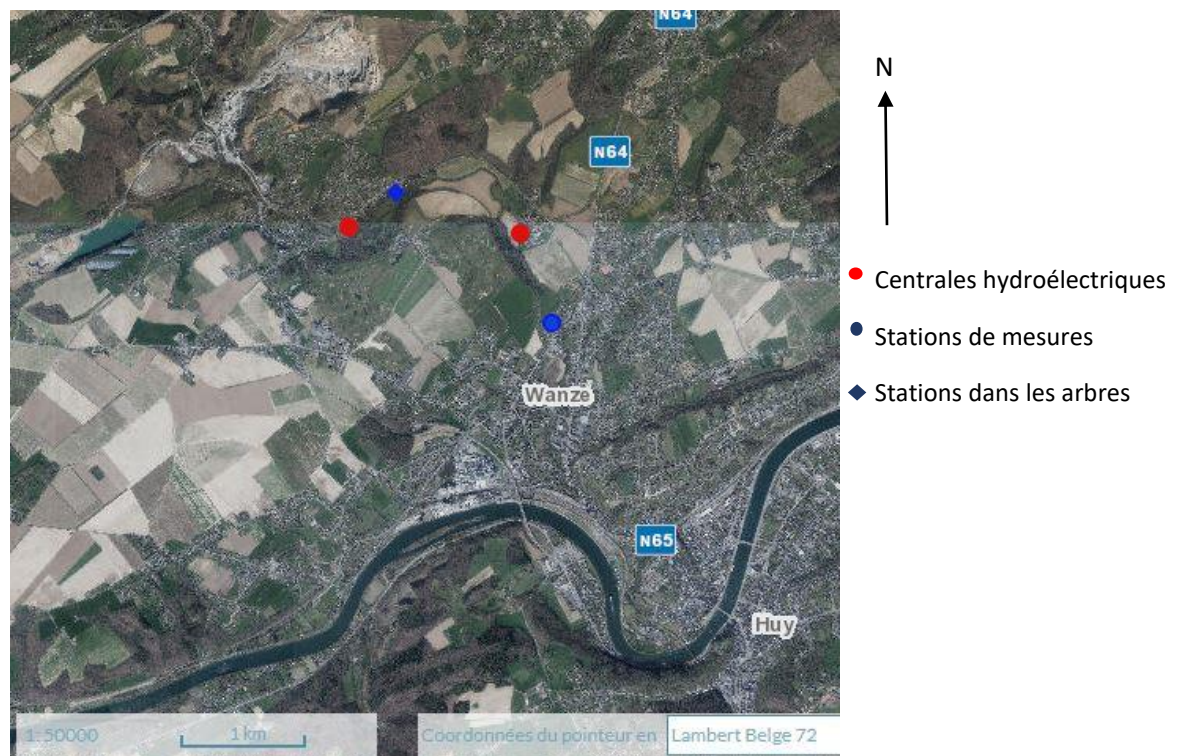


Figure 23 La Mehaigne

La Vesdre

En ce qui concerne la Vesdre [17], en amont, sur la droite de l'image (Figure 24), se trouve une centrale fonctionnant avec deux turbines Francis. Elles ont chacune une puissance de 70 kW, une hauteur de chute de 5 m et un débit de 2 et 1 m³/s. La centrale est en fonctionnement depuis 1992 et ne possède pas de passe à poissons.

La centrale en aval située à Bellevaux est pourvue d'une turbine Ossberger de 100kW de puissance. La chute mesure 4 m et le débit nominal de la turbine est de 4 m³/s.

Aucune passe à poissons n'est encore installée bien qu'une étude a déjà été menée et en préconisait l'installation au niveau de ces deux centrales. [18]

Les deux stations de mesures n'ont pas été installées en même temps. La station de Bellevaux, qui se situe juste en amont de la centrale dans la même ville, a été installée en octobre 2011 et ses mesures sont stables au niveau des jaugeages. En revanche, elle ne fournit plus de données de débit depuis octobre 2015. La station de Verviers est en place depuis août 2004 mais, malheureusement, elle ne renseigne pas sa stabilité par rapport aux mesures de jaugeage effectuées.

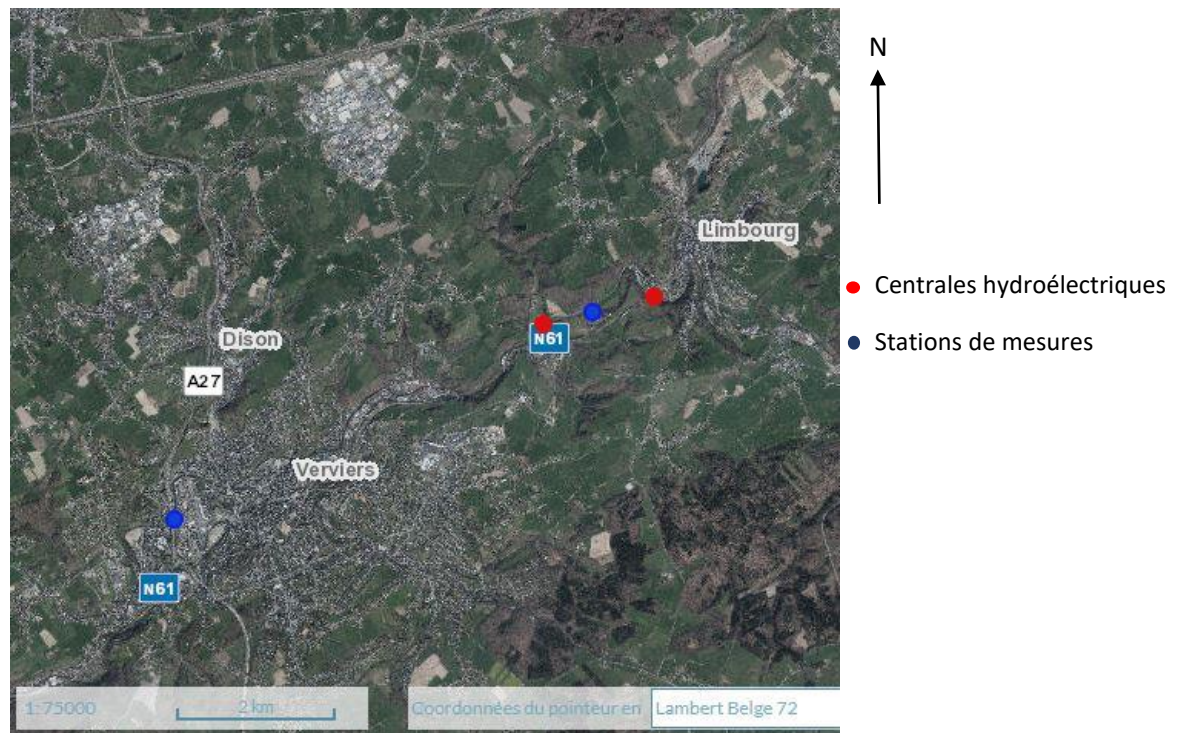


Figure 24 La Vesdre

3. Calendrier de fonctionnement

Afin d’avoir une plage temporelle suffisante, nous avons sélectionné huit années consécutives. Les trois dernières font l’objet d’Arrêtés ministériels. Par conséquent, ces huit années nous offrent une plus large gamme de données et surtout des données avant, pendant et après l’introduction des Arrêtés ministériels.

Suite aux Arrêtés ministériels, pour les cours d’eau repris dans ce travail, il est important de faire un récapitulatif du fonctionnement des centrales. Grâce à ce calendrier, une période d’analyse a pu se dessiner. En tenant compte des arrêts, la période entre le 12 août et le 25 août a été choisie. De plus, elle prend en compte les moments d’inactivité des centrales B1 et C1 pour lesquelles nous avons la certitude qu’elles ne fonctionnaient pas.

Dans le calendrier ci-dessous, la flèche supérieure reprend les périodes comportant des Arrêtés ministériels pour le turbinage. Quand les flèches sont vertes, cela indique que la centrale a produit de l’électricité. En revanche, le rouge indique un arrêt. Les arrêts peuvent provenir d’une panne, d’un manque d’eau ou du respect des Arrêtés ministériels. Les flèches oranges traduisent une production relativement faible et les grises indiquent que les données de production ne sont pas disponibles à des intervalles intéressants. Elles pouvaient parfois être fournies par période de 8 mois. C’est une période trop longue pour ce travail. Dans ce cas, nous nous sommes basés sur le respect des Arrêtés ministériels.

Pour la centrale hydroélectrique D2, la production ne s’est pas arrêtée. En revanche, elle a fortement diminué car la centrale ne couvre plus que les besoins domestiques du propriétaire.

Sur les conseils du Dr Sébastien Epicum, nous avons rendu les données du calendrier anonyme ainsi que toute l’analyse des données. Nous voulions une analyse objective et uniquement basée sur des chiffres ou des observations graphiques.

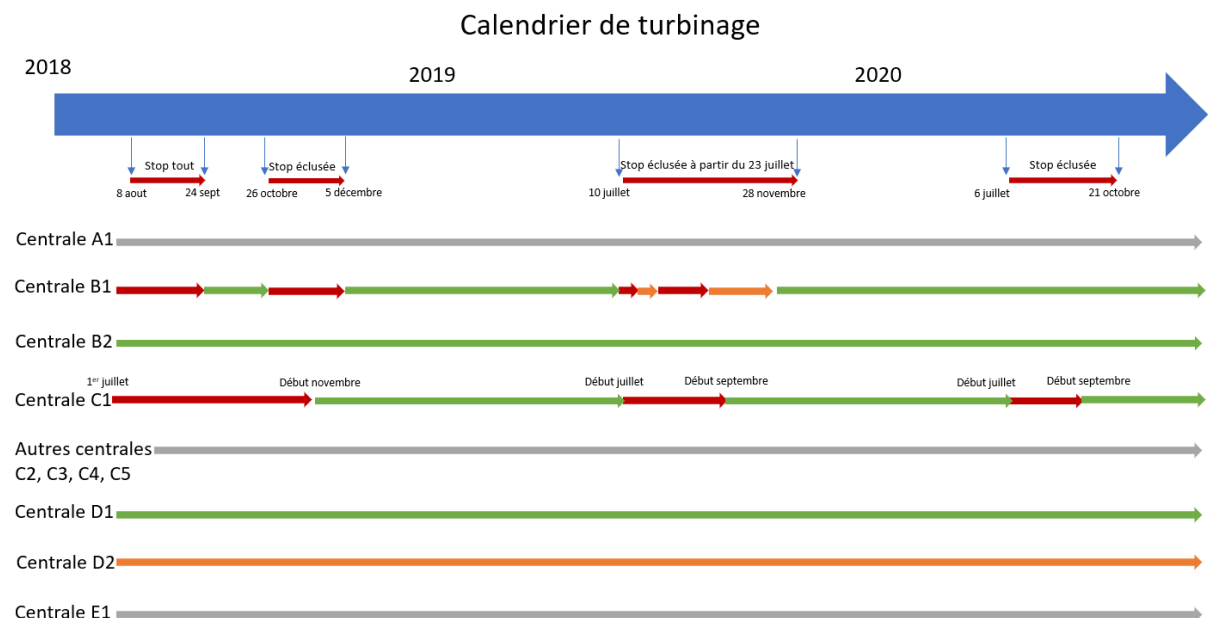


Figure 25 Calendrier de turbinage

4. Précipitations annuelles

Les précipitations jouent un rôle dans le débit des cours d'eau. En effet, cela peut induire des variations en fonction de la nature du terrain.

Ce tableau nous montre l'évolution annuelle de la pluviométrie durant les années que nous avons sélectionnées pour notre analyse [19]. Nous pouvons observer que 2016 se distingue des autres années par des précipitations plus élevées. Durant cette année, nous pouvons supposer que la période d'été a été plus courte ou du moins, moins intense.

Pluviométrie (mm)								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Janvier	53,6	70,1	123,9	134,6	63,7	80,8	71,5	51,3
Février	55,3	66,2	57,8	112,7	40,9	21,7	73,4	107,7
Mars	64,2	18	52,7	82,4	47,7	70,5	85,5	81,2
Avril	25,8	20,1	24,4	65,6	15,2	66,3	36	19
Mai	132,5	54,1	62,6	78,3	45,1	13,9	55	5,4
Juin	55,3	95	53,4	174,6	50,8	15,8	98,1	69,4
Juillet	65,6	117,2	35,5	55,1	58,3	49,7	52,8	47,4
Aout	48,3	136	68,7	54,1	70,8	69,2	47,9	51,4
Septembre	58,1	15,1	59,1	18,3	77,5	65,3	62,6	101,8
Octobre	77,5	58,1	40,9	50,7	43,1	48,3	84,6	75,8
Novembre	102,6	40,5	103,7	93,2	105,9	54,9	62,2	41,7
Décembre	77,1	93,9	54	22,7	130,1	93,2	71,4	79,9
Total	815,9	784,3	736,7	942,3	749,1	649,6	801	732
Jours de pluie	180	183	198	190	209	141	182	174

Tableau 1 Pluviométrie depuis 2013 à Uccle

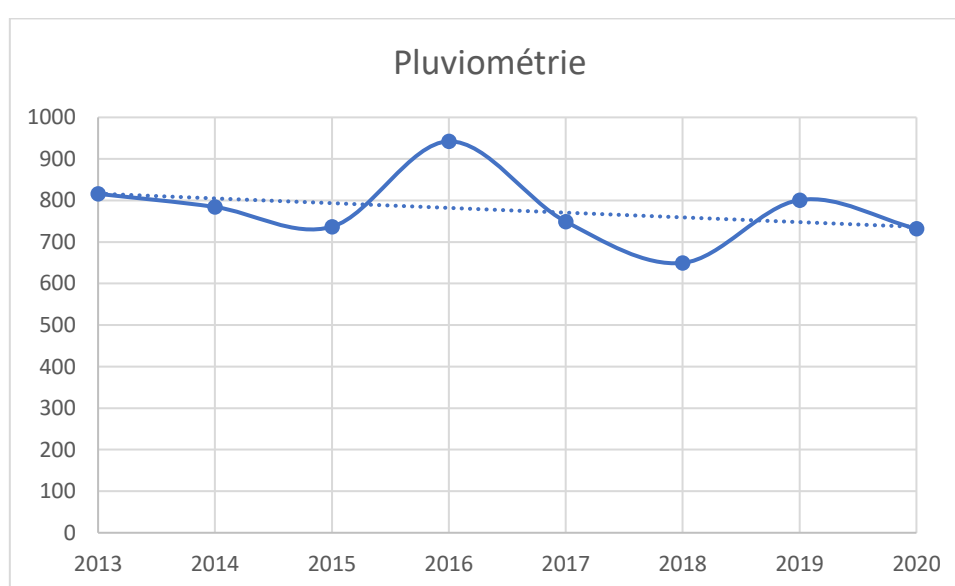


Figure 26 Pluviométrie à Uccle avec une courbe de tendance

En y regardant de plus près, certains aléas météorologiques sautent aux yeux. Les mois d'août de chaque année sélectionnée subissent des pluies plus ou moins importantes qui peuvent influencer les débits des rivières en un temps relativement court. Dans les annexes 10 à 25, nous retrouvons les précipitations chaque année, jour par jour du mois d'août. Elles ont été enregistrées à Uccle [20]. Cela donne une idée générale de la pluviosité en Belgique mais certaines pluies ou orages localisés ne sont pas pris en compte. En comparant les données de débit et la pluviométrie, la plupart des pics de débit correspondent à des pics de pluviosité. Les précipitations influencent au jour près les débits d'eau des rivières. Le ruissellement sur surface naturelle, l'eau tombant directement dans les rivières et le ruissellement sur les surfaces urbanisées sont autant de paramètres qui donnent à l'eau un temps de convergence différent vers le point de mesure dans la rivière.

De plus, la taille du bassin versant joue un rôle dans les augmentations brusques de débit dues à la pluviosité. Parmi les bassins versants étudiés, ceux de Wanze et de Verviers sont les plus grands. Les pics les plus importants correspondent aux bassins de plus grande taille. Cela s'explique par le fait que le bassin va récolter plus d'eau et que selon la forme qu'il a, l'eau va converger plus rapidement ou non vers le point de mesure de débit. Bien sûr il y a d'autres facteurs pouvant être pris en compte comme l'intensité de la pluie, l'imperméabilisation du sol, la topographie, ...

5. Données de débit

Avant de commencer l'analyse des données, il aurait été intéressant de mentionner la quantité d'eau relâchée par les centrales fonctionnant en éclusées. Cela aurait permis de donner un ordre de grandeur et un point de comparaison par rapport aux autres cours d'eau de Wallonie. Malheureusement, il n'était pas possible de disposer des données de production instantanées ou à minima horaires. Les historiques de production obtenus sont pour la plupart en production mensuelle. Une production instantanée nous aurait permis de calculer la réserve faite grâce au débit d'équipement de la centrale.

Le type de fonctionnement ou l'arrêt d'une centrale hydroélectrique peut avoir un impact sur le débit. Il est donc normal de s'assurer que leur état (fonctionnement ou équipement) n'a pas varié au cours des années sélectionnées. D'après Madame Johanna D'hernoncourt, il n'y a pas eu de modification ou de mise à l'arrêt définitive des centrales. Les arrêts visibles dans le calendrier de turbinage (Figure 25) ne sont que de courte durée ou simple respect des Arrêtés ministériels.

Pour ce travail, nous avons choisi de nous limiter aux années comprises entre 2013 et 2020. Comme dit précédemment, les années 2018, 2019 et 2020 ont fait l'objet d'Arrêtés ministériels. Il était donc indispensable de les sélectionner. Afin d'avoir une bonne comparaison, nous avons retenu les cinq années précédentes. La période reprise chaque fois est comprise entre le 12 août et le 25 août inclus. Ces deux semaines ont fait l'objet d'un Arrêté interdisant tout ou une partie du turbinage pour les années 2018, 2019 et 2020.

Avant d'analyser au cas par cas, il y a plusieurs débits ayant une fréquence d'apparition très faible. Nous pouvons l'expliquer par le fait qu'il y a chaque année quelques jours pluvieux au mois d'août (voir annexes 18 à 25). Ces journées font augmenter le débit sur un laps de temps relativement court mais ce n'est pas quelque chose de régulier.

Sur le graphique ci-dessous, nous pouvons voir la somme des débits spécifiques pour les 5 rivières sélectionnées. Chaque donnée de débit a été divisée par la superficie du bassin versant afin de pouvoir comparer les rivières entre elles. Une fois chaque valeur divisée, nous les avons additionnées pour chaque année. Cette étape est nécessaire afin de vérifier que les rivières sont bien comparables entre

elles d'un point de vue des débits. De plus, ces courbes nous montrent une première particularité. Durant la période choisie, sur chacune des rivières, nous pouvons voir que les débits ont diminué. Nous pouvons donc dire que la quantité d'eau disponible dans les rivières sur ces années a régressé pour chacune d'entre elles.

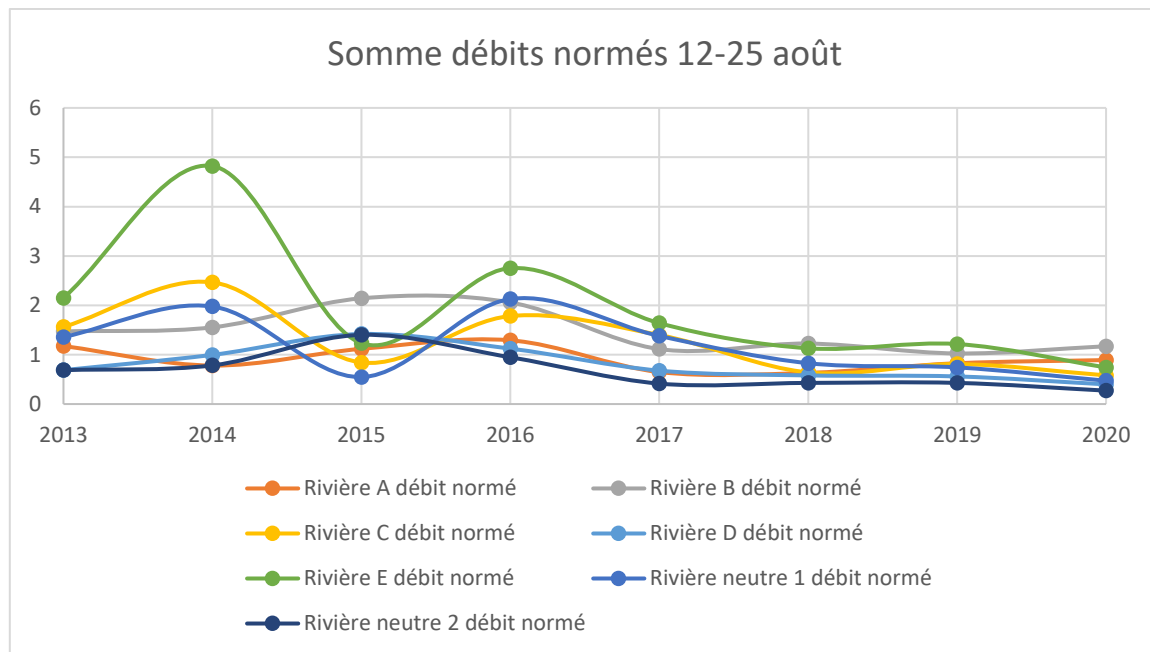


Figure 27 Somme des débits normés

Le matériel utilisé pour faire les différentes mesures de hauteur dans les rivières est composé de capteurs OTT PLS [21]. Ce sont des capteurs permettant de mesurer aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines. Ils ont une résolution de 0,1 cm et une précision de 0.05 % de la valeur finale de la plage de données. Celle-ci est très intéressante et permet d'éviter une bonne partie des erreurs. Les hauteurs d'eau maximales répertoriées dans ce travail dépassent rarement la cote de 1 m.

Afin de mieux comprendre l'impact des installations anthropiques sur les rivières, il est intéressant de comparer l'hydrogramme des rivières étudiées avec ceux de rivières sur lesquelles il n'y a pas de centrale hydroélectrique. Comme comparaison, nous avons choisi les stations de Maissin sur la Lesse et d'Ambresin sur la Mehaigne. La station d'Ambresin est relativement intéressante car elle se situe en amont de toutes centrales présentes sur ce cours d'eau. Rapidement, il est possible de tirer une première observation. Les courbes de débit (Figure 28 et Figure 29) sont plus lisses et plus régulières que les courbes de débit des autres stations de mesures (Figure 33, Figure 37, Figure 40, Figure 42 et Figure 51).

Ci-dessous, nous trouvons les différents graphes et tableaux utilisables pour la dernière partie de ce travail. Celle-ci sera l'analyse des résultats en comparant les graphes et valeurs obtenues. Les graphiques disponibles pour chaque rivière sont les hydrogrammes, les histogrammes des gradients de débit, les courbes de débits classés et les écarts-types. Les tableaux reprennent les écart-types, les kurtosis ou coefficient d'aplatissement et les coefficients d'asymétrie. Pour les stations précédées d'une centrale, le résultat du F-test est disponible également.

Analyse des résultats

1. Comparaison avec rivières neutres

La première rivière neutre choisie est une rivière ne possédant aucune centrale en amont de la station de mesure. Nous voyons clairement que les courbes sont bien plus régulières que les hydrogrammes des autres rivières. De plus, il y a très peu de changements brusques de débit car les écarts-types sont relativement faibles (Tableau 2).

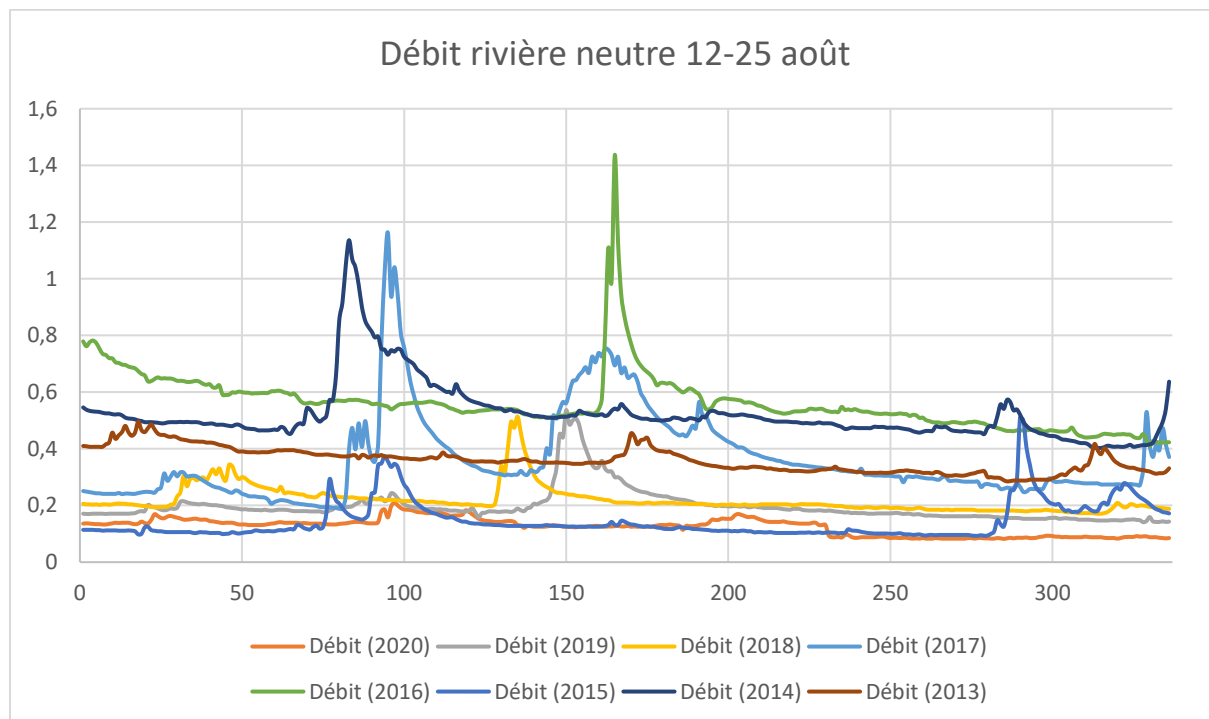


Figure 28 Hydrogramme de la rivière neutre

	Rivière neutre 1		
	Ecart-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie
2013	0,0077	11,2852	1,5555
2014	0,0199	36,1898	4,2814
2015	0,0196	63,5670	5,7207
2016	0,0392	76,6874	4,6334
2017	0,0401	28,8456	2,9925
2018	0,0129	25,0183	3,0928
2019	0,0117	51,3149	4,8531
2020	0,0051	29,1168	1,2828

Tableau 2 Caractéristiques statistiques de la rivière neutre 1

Comme la rivière neutre 2 est la même que la rivière D, il est possible de faire un comparatif entre les deux. Les deux stations de mesures ne sont pas placées l'une près de l'autre. Il existe plusieurs centrales hydroélectriques entre ces deux points de mesure. La station en amont de l'autre n'est pas impactée par les centrales hydroélectriques. Il est dès lors intéressant de les comparer.

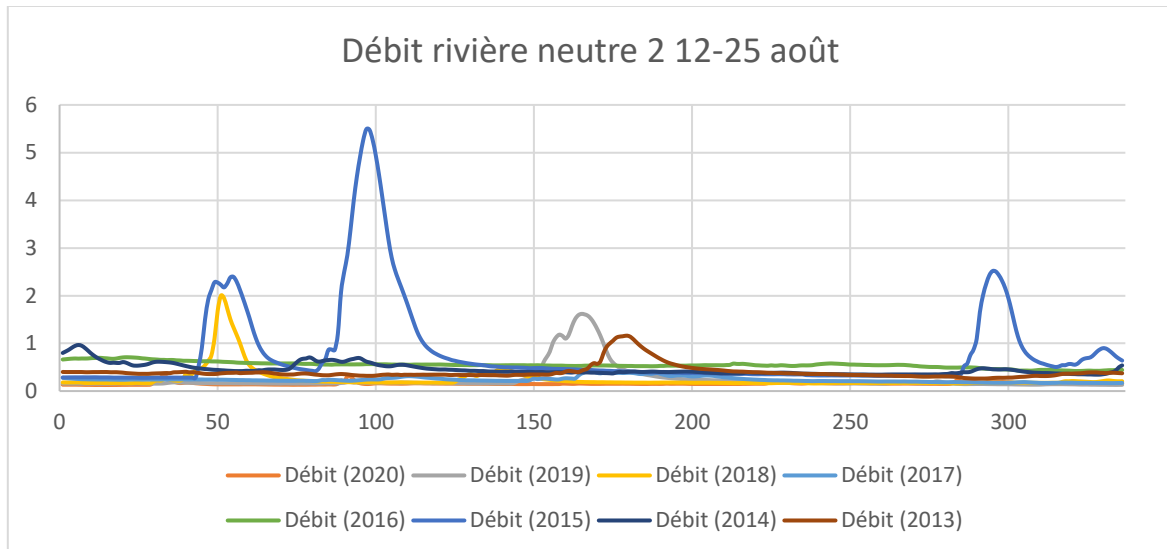


Figure 29 Hydrogramme de la rivière neutre 2

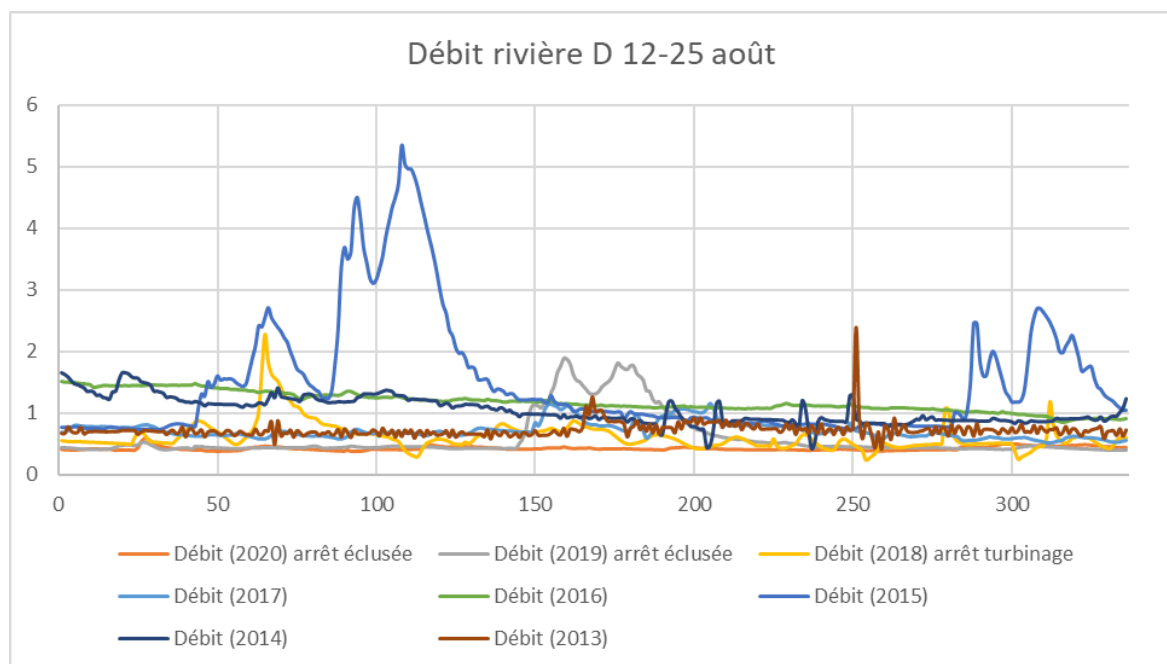


Figure 30 Hydrogramme de la rivière D

D'un point de vue visuel, la courbe de la station en amont (Figure 29) est beaucoup plus lisse et présente moins de petites variations que la station en aval (Figure 30). Le débit est plus faible mais c'est tout à fait normal puisque les bassins versants ne sont pas de la même taille. Le bassin versant au niveau de la station amont est de 195 km² tandis que le bassin versant en aval est de 352 km².

Au niveau des valeurs chiffrées, la différence entre les deux stations est particulièrement bien visible en 2013. L'écart-type nous montre cette différence. En 2013 pour la station amont, il était de 0,018 tandis que pour la station aval, il était de 0,154. Cette différence est notamment bien marquée sur les histogrammes des gradients de débit (Figure 31 et Figure 32). En regardant le Tableau 3, nous voyons que les écarts-types mesuré à la station amont sont en permanence plus faibles que ceux de la station aval. Ensuite, en comparant avec un F-test les deux stations de mesures, le résultat indique clairement que les variances ne sont pas égales (F-test = 2,2161E-143). Cela prouve donc qu'il y a une influence des centrales sur cette rivière.

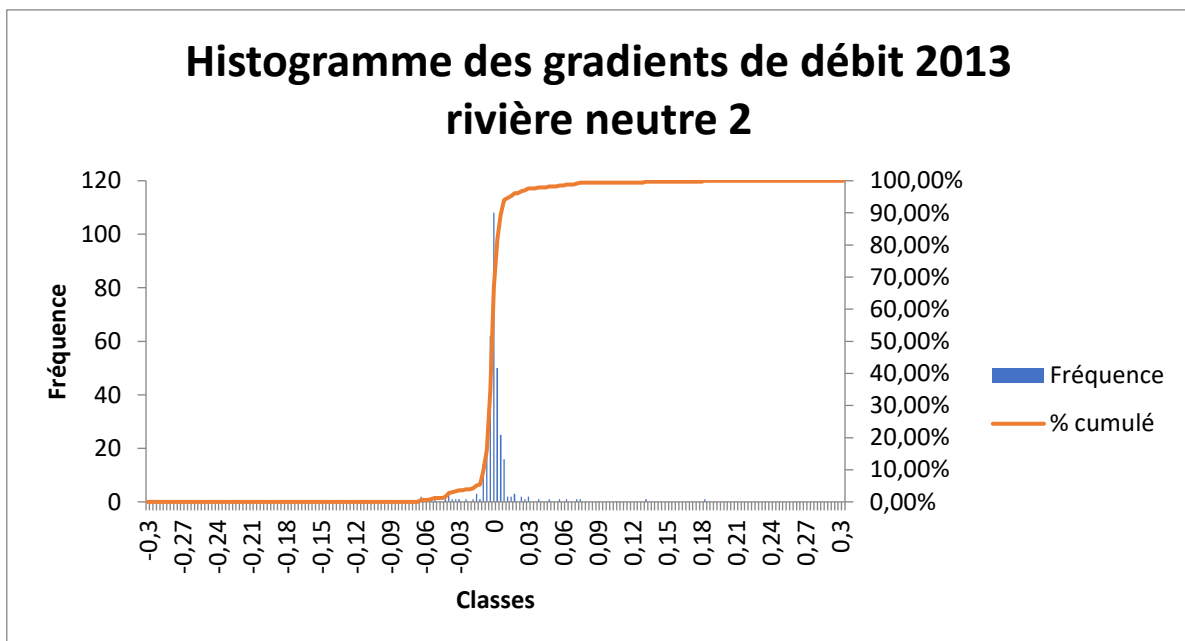


Figure 31 Histogramme des gradients de débit de la rivière neutre 2 12-25 août

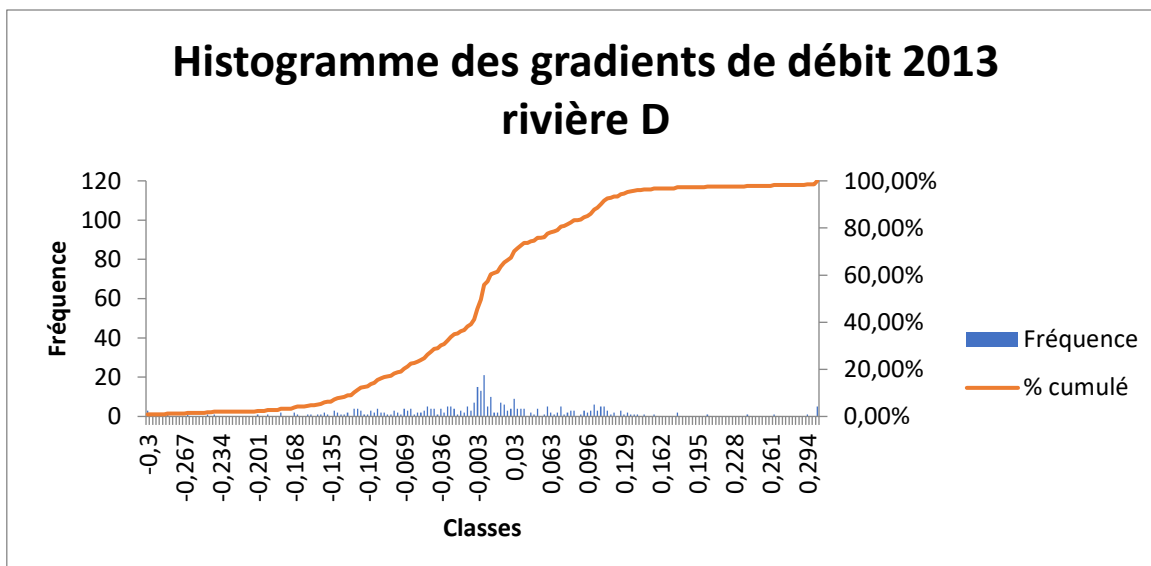


Figure 32 Histogramme des gradients de débit de la rivière D 12-25 août

	Ecart-types rivière D	
	Neutre 2 station amont	Rivière D station aval
2013	0,0181	0,1543
2014	0,0139	0,0743
2015	0,1352	0,1512
2016	0,0036	0,0100
2017	0,0078	0,0318
2018	0,0520	0,0863
2019	0,0324	0,0367
2020	0,0117	0,0094

Tableau 3 Tableau des écart-types de la rivière D

2. Rivière A

Sur la rivière A, il est difficile de chiffrer un impact des centrales car il n'y a pas eu d'arrêt de turbinage. Il n'est dès lors pas possible de comparer des années avec et sans turbinage.

Cependant, nous pouvons mettre en évidence un autre phénomène. En effet, il est possible de comparer un hydrogramme reprenant toutes les valeurs de débit (Figure 33) et un autre légèrement modifié (Figure 34). La modification a consisté en la suppression des valeurs extrêmes qui correspondaient aux grosses pluies ou orages. La dernière valeur avant la suppression est reprise jusqu'à la valeur normale suivante. De la sorte, les variations de débit qui apparaissaient faibles, sont en réalité plus importantes et mieux visibles. La centrale A1 ne s'étant pas arrêtée, il est normal que les courbes de débit soient semblables. Les différences de hauteur viennent des précipitations différentes d'une année à l'autre (Tableau 1).

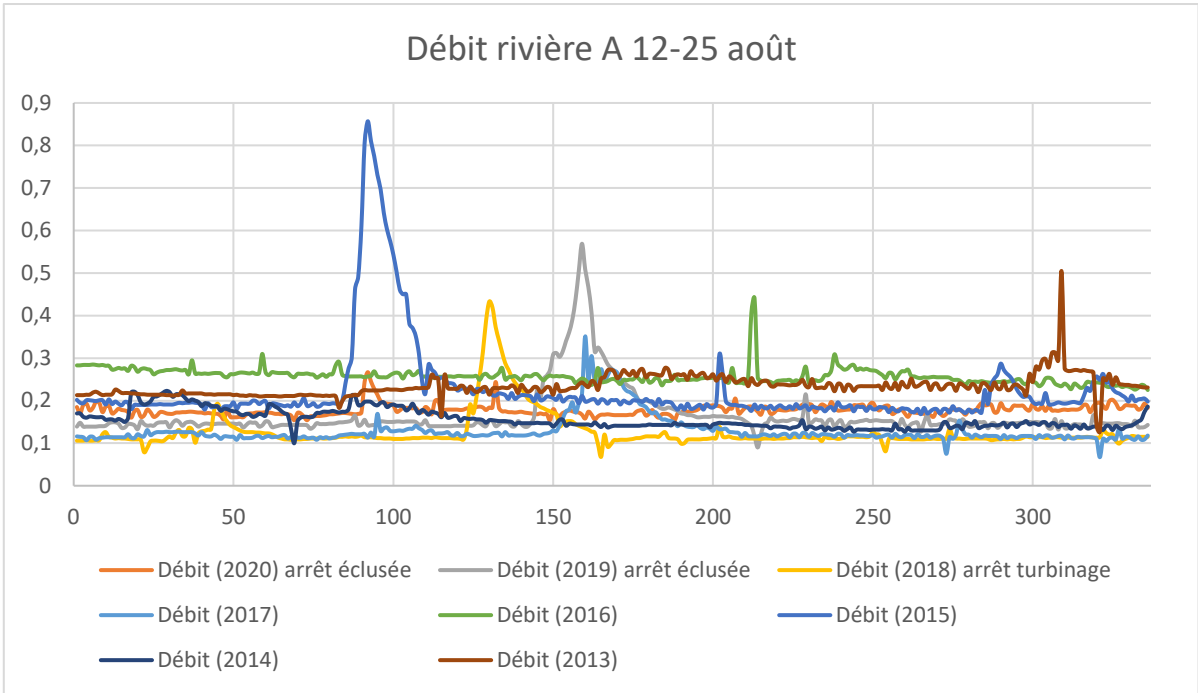


Figure 33 Hydrogramme de la rivière A

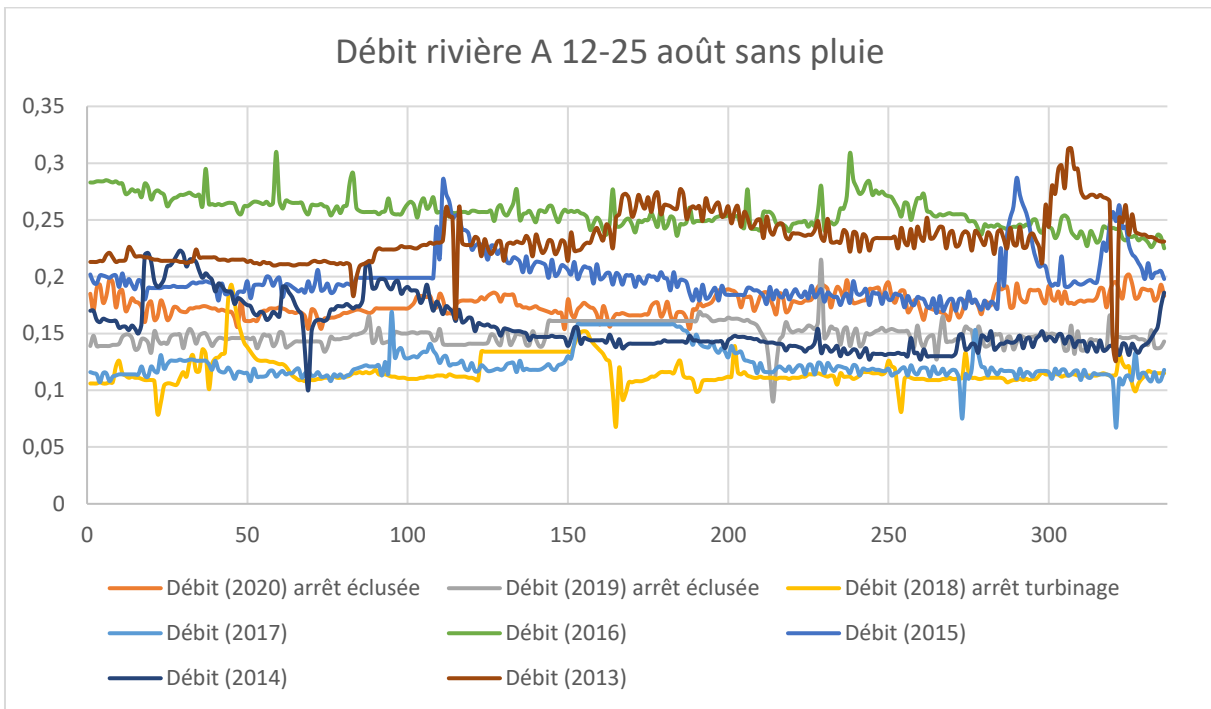


Figure 34 Hydrogramme de la rivière A sans les pics dus à la pluie

En 2015 par exemple, une fois les données du pic de pluie supprimées, il est dès lors possible de voir une légère modification des histogrammes de débit (Figure 35 et Figure 36). Certaines valeurs extrêmes ont disparu mais cette modification est visible également à travers des chiffres (Tableau 4). Tout d’abord, la moyenne affichée est la moyenne des débits. Elle a légèrement diminué quand nous avons retiré les pluies. C’est tout-à-fait normal puisque des valeurs plus élevées de débit ont été retirées. Ensuite, l’écart-type a lui aussi régressé et a été divisé par 2,5. Les valeurs minimale et maximale de débit se sont rapprochées de 0. Cela veut donc dire que les gradients les plus élevés étaient dus à la pluie. Cette différence est visible sur les Figure 35 et Figure 36 ci-dessous. Nous pouvons le voir entre les valeurs -0.06 et -0.02. La courbe des fréquences cumulées reste plus longtemps à la valeur 0 % pour l’histogramme sans pic de pluie que pour l’histogramme avec pics de pluie. Le même constat se fait pour la fréquence cumulée de 100 %.

	Rivière A			F-test
	Ecart-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie	
2013	0,0229	56,1583	-0,5945	6,1425E-38
2014	0,0076	19,2187	2,0386	
2015	0,0221	30,3232	3,8315	
2016	0,0158	81,6363	-2,3038	
2017	0,0136	42,2848	2,0309	
2018	0,0114	13,1275	2,0217	
2019	0,0139	13,6785	-0,3488	
2020	0,0100	14,9850	1,0905	

Tableau 4 Caractéristiques statistiques rivière A

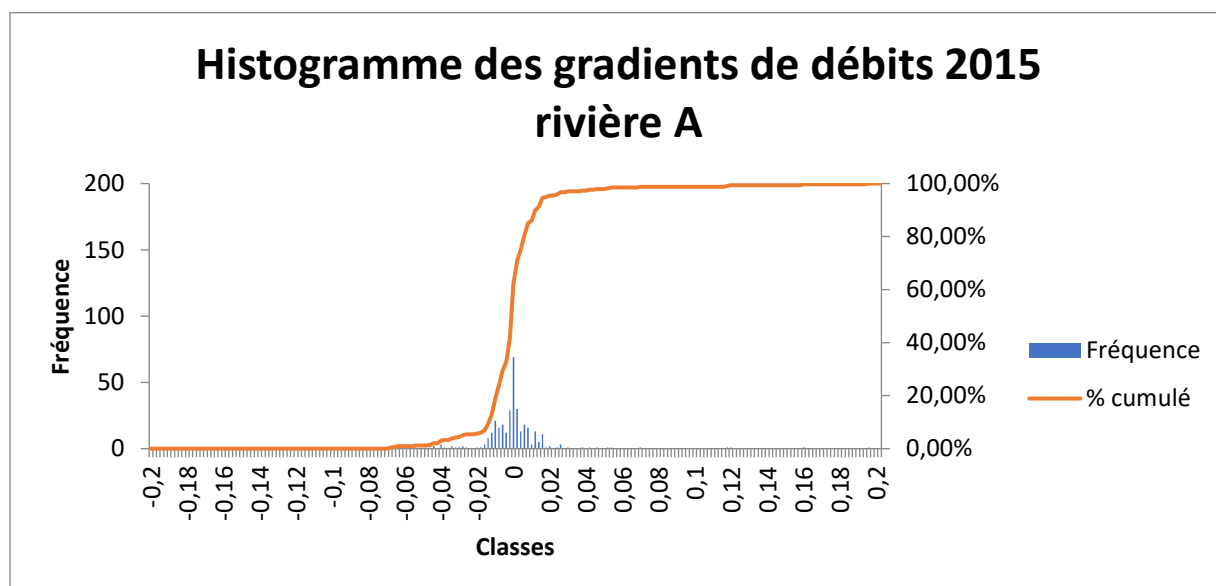


Figure 35 Histogramme des gradients de débit de la rivière A 12-25 août

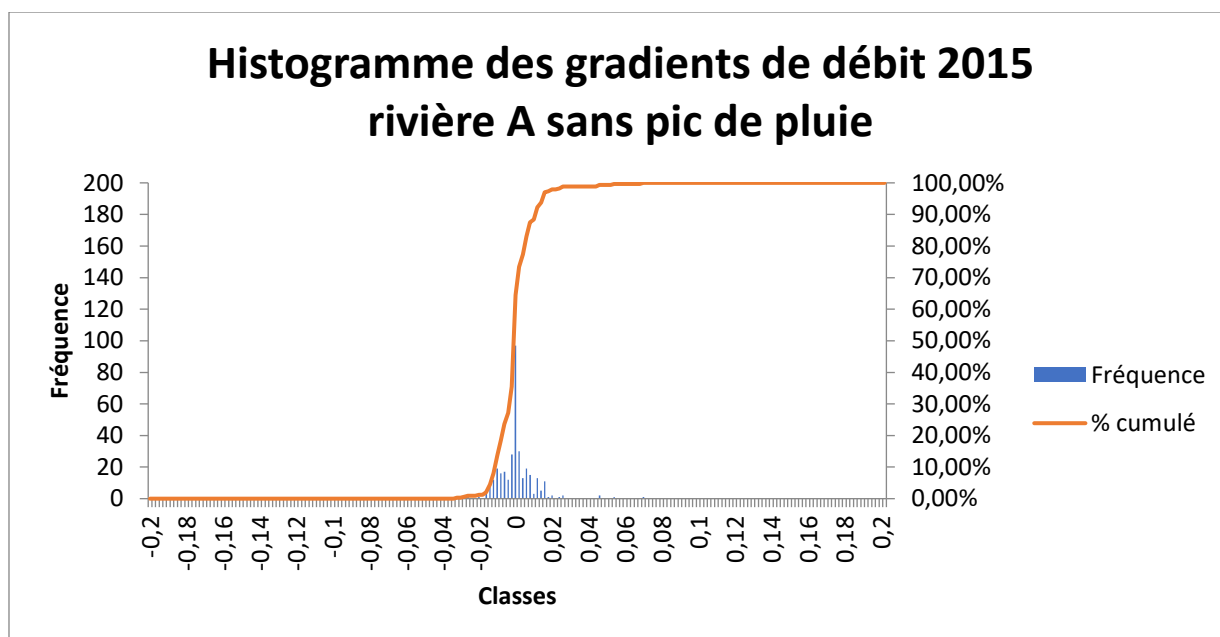


Figure 36 Histogramme des gradients de débit de la rivière A sans pic de pluie 12-25 août

Avec pics de pluie		Sans pic de pluie	
Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne
0,0221	0,2230	0,0100	0,1987
Max	Min	Max	Min
0,195	-0,069	0,069	-0,033
Asymétrie	Aplatissement	Asymétrie	Aplatissement
3,8315	30,3232	1,8511	10,8616

Tableau 5 Caractéristiques statistiques rivière A avec et sans pics de pluie

3. Rivière B

Si l'on se réfère à la Figure 25, une des deux centrales s'est arrêtée au moment des Arrêtés ministériels mais l'autre a continué de turbiner. Les histogrammes de gradients de débit (annexes 26 à 33) indiquent qu'il n'y a pas eu de différence avec ou sans arrêt de la centrale B1. Les perturbations du régime de la rivière peuvent venir de la centrale B2. Le graphique des écarts-types (Figure 38) nous montre qu'il n'y a pas de corrélation entre la centrale B1 et le débit de la rivière. Les écarts-types ne sont pas constants lors des arrêts ou du moins il n'y a pas de diminution.

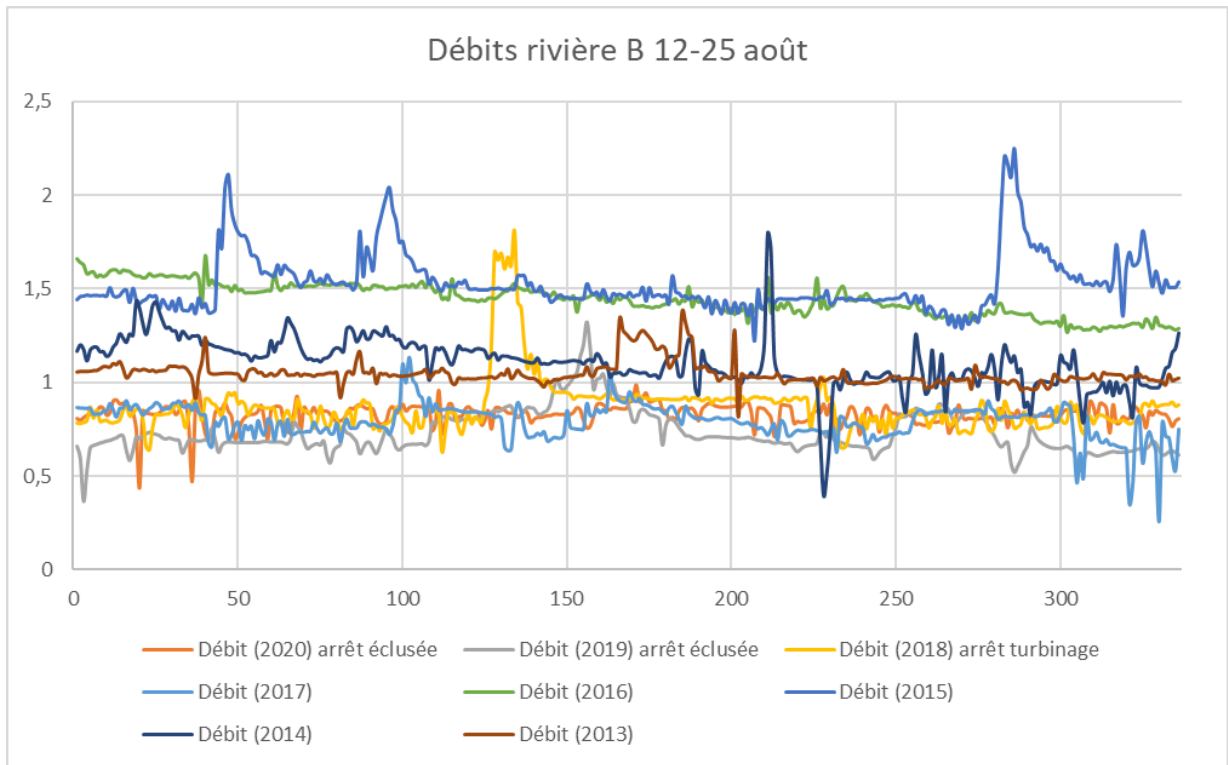


Figure 37 Hydrogramme de la rivière B

	Rivière B			F-test
	Ecart-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie	
2013	0,0472	35,2665	-1,2798	1,3548E-10
2014	0,0806	17,2741	0,0288	
2015	0,0702	8,9974	1,6064	
2016	0,0347	15,4969	0,5379	
2017	0,0709	15,3273	1,2294	
2018	0,0616	16,8490	0,7582	
2019	0,0372	10,2033	-1,0273	
2020	0,0618	13,3623	0,7968	

Tableau 6 Caractéristiques statistiques rivière B

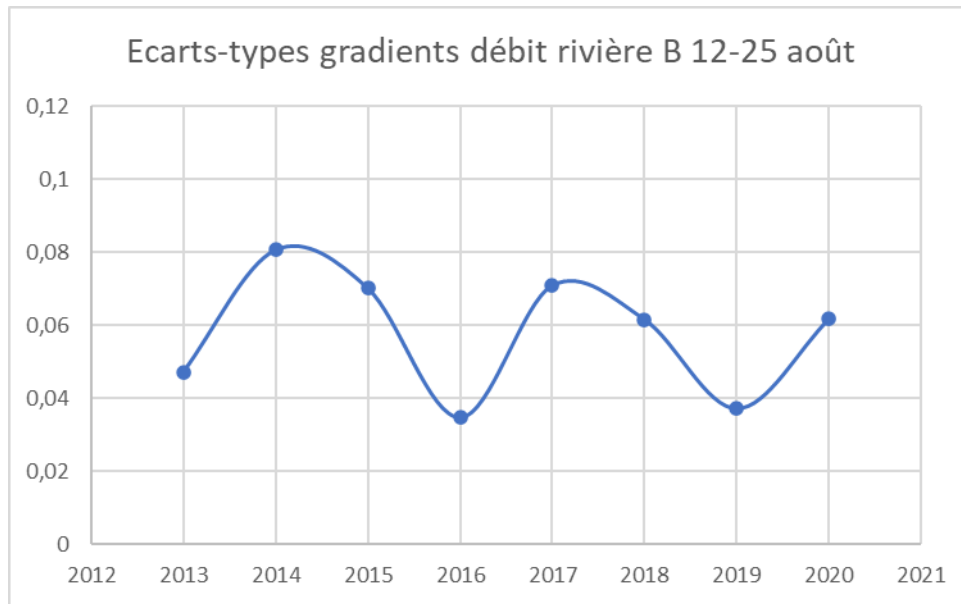


Figure 38 Graphique des écarts-types des gradients de débit sur la rivière B

4. Rivière C

Sur la rivière C, si nous prenons uniquement en compte le débit, nous pouvons voir que la dernière centrale (C1) en amont de la station de mesure a fonctionné chaque année. La courbe en noir sur la Figure 39 montre le débit minimum turbinable de la centrale le plus en aval par rapport au débit de la rivière. Elle s'est toutefois arrêtée en 2018, 2019 et 2020 (Figure 25). Les chiffres observés dans les graphiques durant ces années sont des chiffres obtenus sans turbinage.

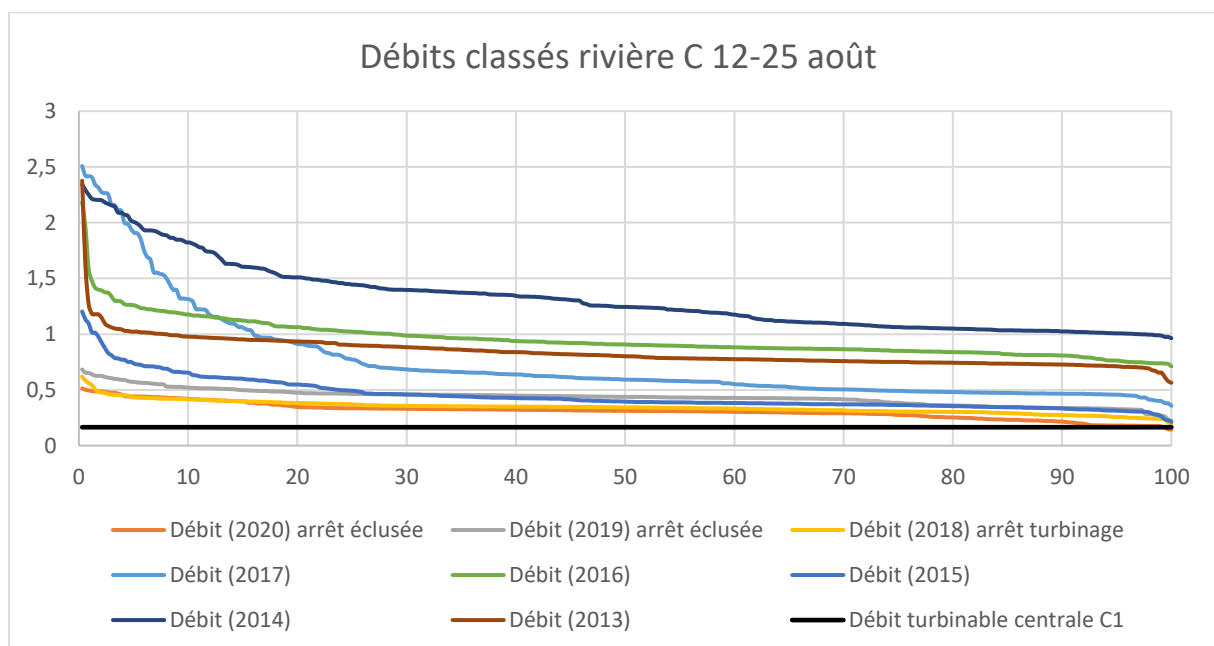


Figure 39 Courbe des débits classés sur la rivière C

Grâce à la Figure 39, nous voyons une faible variation du débit lors des trois années sans turbinage. Les courbes jaune, grise et orange représentent ces années. Pour les pourcentages d'apparition les plus faibles, il n'y a pas de pic de débit comme il est possible de le voir les autres années. La Figure 41 confirme cette faible variation. En effet, les écarts-types sont plus faibles que les années précédentes. Ceux-ci montrent la répartition des données autour de la moyenne. Dans ce cas-ci, les gradients calculés sont relativement serrés autour de la moyenne. Cela veut dire que les gradients de débit sont relativement faibles. Les variations de débit ne se sont pas faites brusquement mais sont apparues sur plusieurs heures de temps.

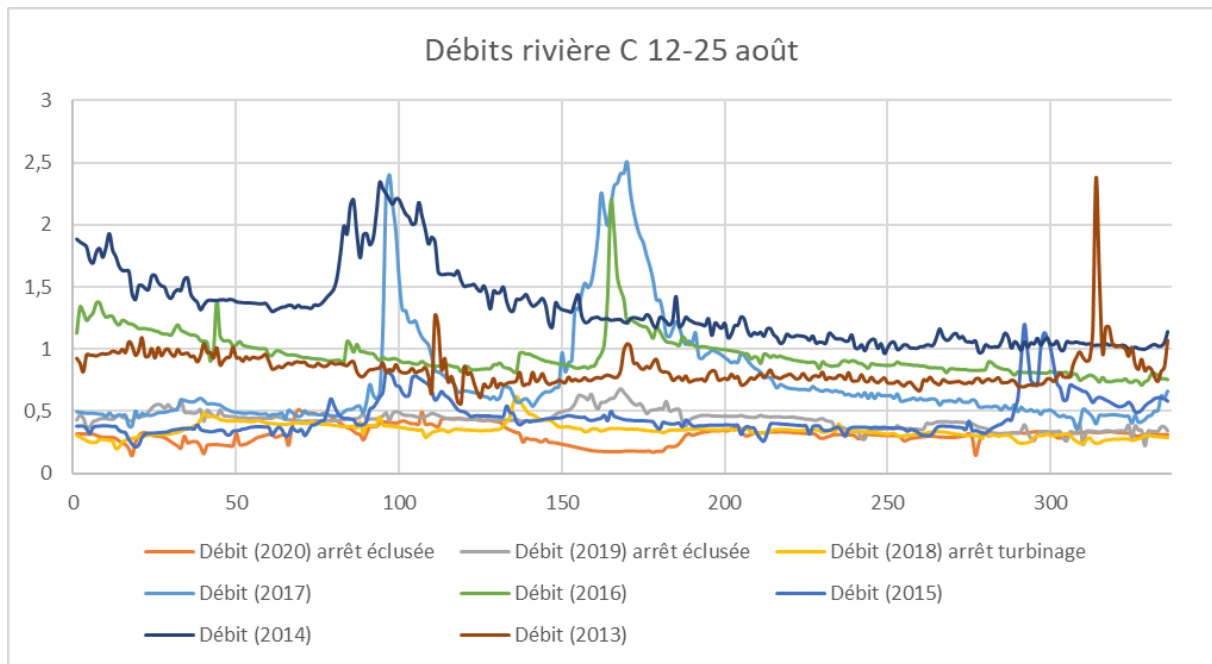


Figure 40 Hydrogramme de la rivière C

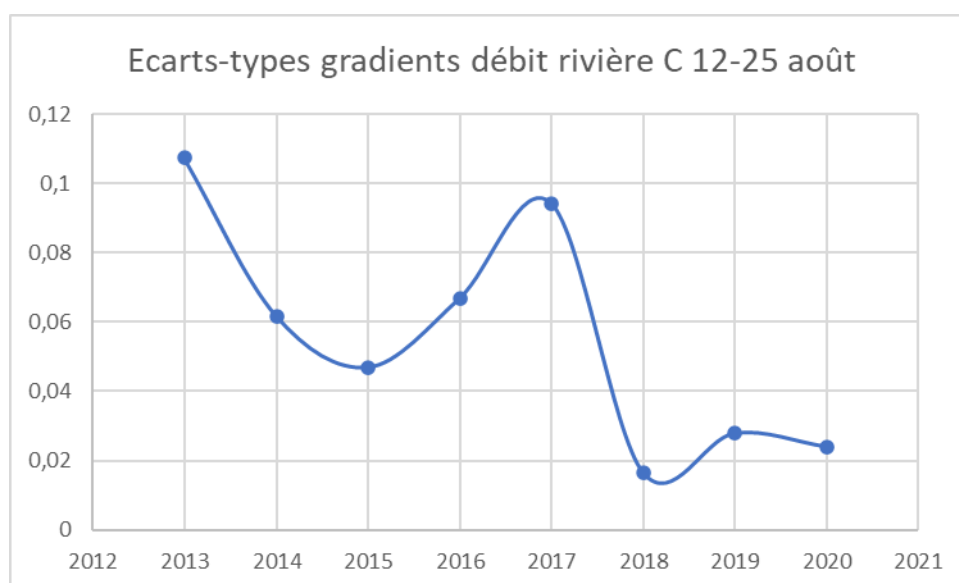


Figure 41 Graphique des écarts-type des gradients de débit sur la rivière C

Pour cette rivière, la centrale la plus proche de la station de mesure s'étant arrêtée lors des trois années avec Arrêtés ministériels, nous avons appliqué les deux méthodes statistiques expliquées précédemment.

La méthode de l'ANOVA nous montre qu'il y a des variations entre les variances mais qu'elles ne sont pas exploitables pour comparer les deux périodes différentes. Les valeurs obtenues sont similaires. Pour la période sans arrêt, la P-valeur est de 0,9801 et 0,985 pour la période avec arrêt. Ces deux valeurs sont normales mais la troisième comparant toutes les années entre elles est encore plus élevée (0,9986). Au vu des graphiques et du F-test, la troisième valeur aurait dû être bien plus proche de 0.

En revanche, le F-test réalisé confirme ce qu'il est possible de voir sur le graphique des écarts-types (Figure 41). Ce test confirme qu'il y a eu une différence entre les cinq premières années et les trois années sous Arrêtés ministériels. Nous savons, grâce au calendrier que la centrale C1 était inactive. Pour les autres, nous n'avons pas l'information. Plus la valeur du F-test est faible, plus les variances des deux périodes ne sont pas égales. Nous pouvons en déduire que cet arrêt a un impact sur le débit de la rivière C.

	Rivière C			F-test
	Ecarts-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie	
2013	0,1073	65,2281	3,3514	3,452E-290
2014	0,0617	4,6912	0,0908	
2015	0,0468	17,9803	1,8608	
2016	0,0668	62,8569	5,0129	
2017	0,0943	63,2912	5,5404	
2018	0,0165	12,1410	0,6330	
2019	0,0278	8,4074	-0,7138	
2020	0,0239	11,9878	0,8301	

Tableau 7 Caractéristiques statistiques rivière C

Ensuite, en comparant ce F-test avec celui réalisé sur les autres rivières, nous voyons que c'est pour ce cours d'eau que la valeur est la plus faible. C'est dans cette rivière que l'impact est le plus marqué. En plus d'être visible sur les histogrammes ou le graphique des écarts-types, les chiffres montrent clairement une relation entre l'arrêt d'au moins une centrale et une certaine régularité du débit.

	F-test
Rivière A	6,1425E-38
Rivière B	1,3548E-10
Rivière C	3,452E-290
Rivière D	7,1114E-98
Rivière E	4,6831E-08

Tableau 8 Comparaison F-test sur les cinq rivières

5. Rivière D

Sur cette rivière, nous pouvons observer qu'en 2013, il y a eu beaucoup de faibles variations. Cela ressemble à un fonctionnement en éclusée. Il y a entre trois et quatre heures entre chaque petit maximum. L'éclusée se ferait donc sur plus ou moins quatre heures de temps. Certains propriétaires de centrales sur cette rivière nous ont parlé d'une centrale en éclusée plus en amont mais nous n'avons pas pu avoir la confirmation.

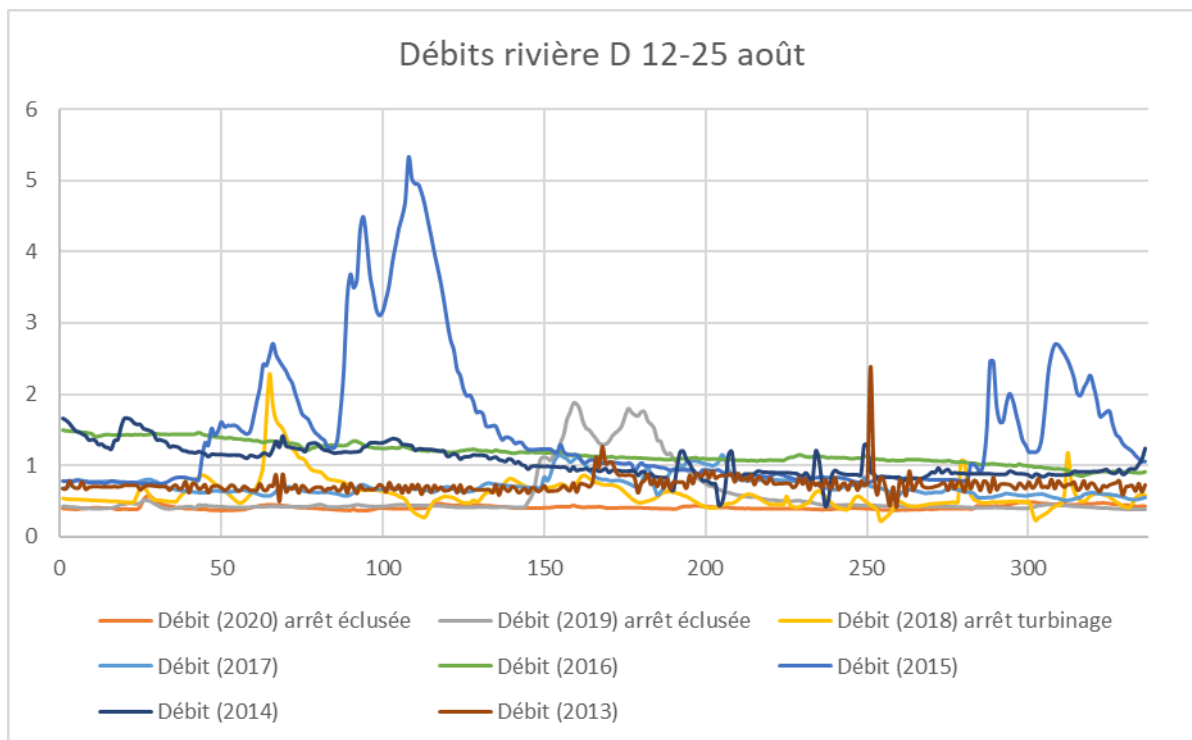


Figure 42 Hydrogramme de la rivière D

	Rivière D			F-test
	Ecart-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie	
2013	0,1543	62,3048	0,9431	7,1114E-98
2014	0,0743	16,4563	1,1308	
2015	0,1512	13,0093	2,1805	
2016	0,0100	3,0037	0,0117	
2017	0,0318	10,0633	0,6975	
2018	0,0863	31,6969	3,3023	
2019	0,0367	15,8432	1,7929	
2020	0,0094	37,0420	3,7686	

Tableau 9 Caractéristiques statistiques rivière D

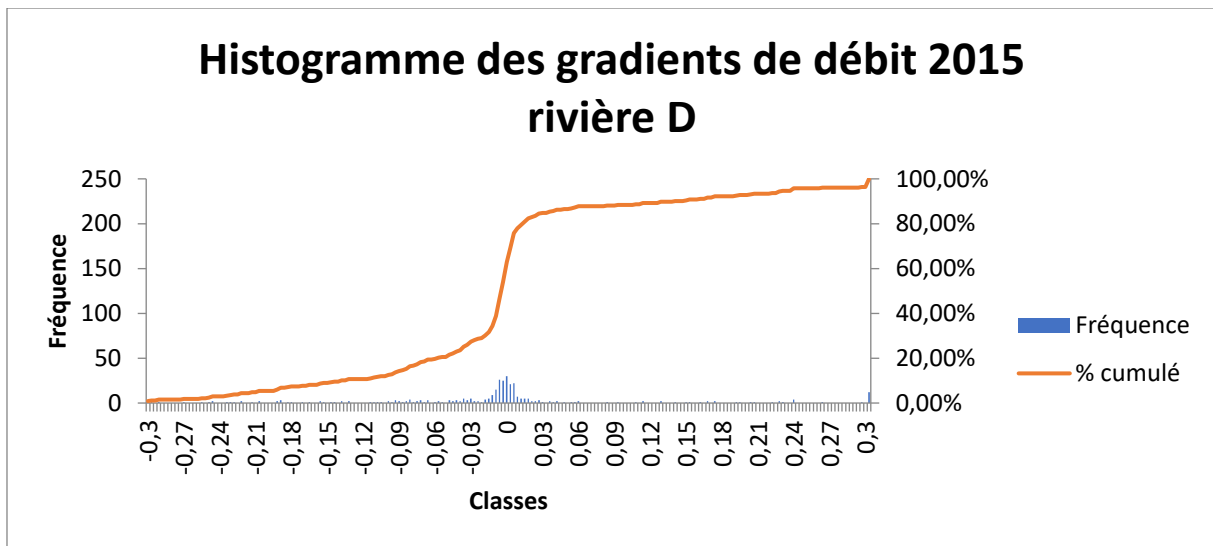


Figure 43 Histogramme des gradients de débit de la rivière D 12-25 août

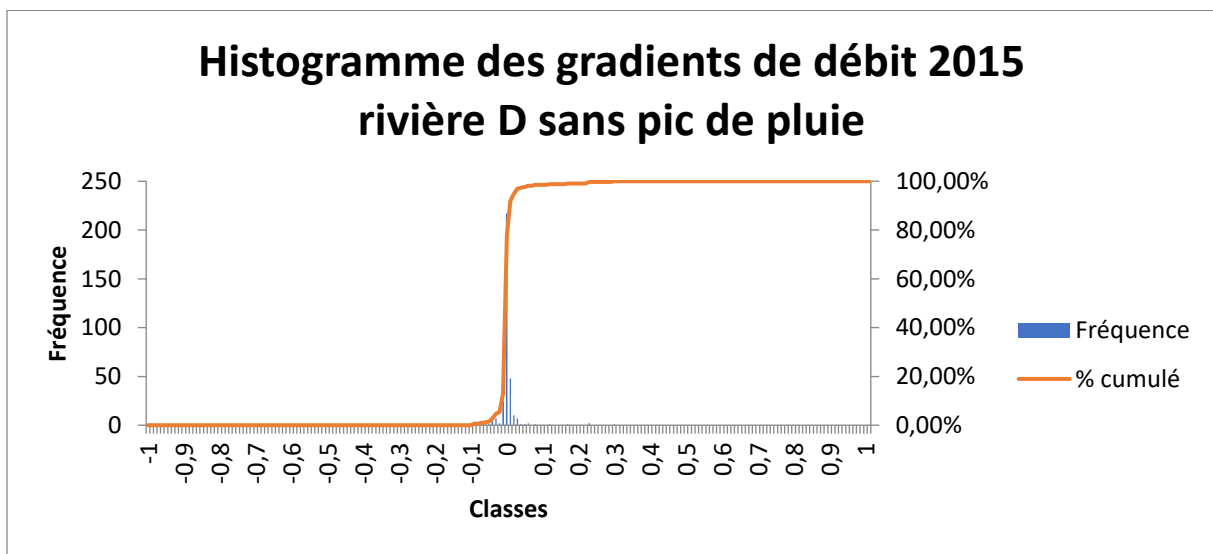


Figure 44 Histogramme des gradients de débit de la rivière D sans pic de pluie 12-25 août

Lors des trois années durant lesquelles il y a eu un Arrêté ministériel, hormis les pluies (annexes 23, 24, 25), les variations observables de débit sont bien plus faibles que les années précédentes. La Figure 43 et la Figure 44 montrent la différence qu'il peut y avoir si les pics de pluie sont supprimés des données de débit. Sur la Figure 45, nous pouvons voir que les années 2019 et 2020 n'ont subi que très peu de variations de débit.

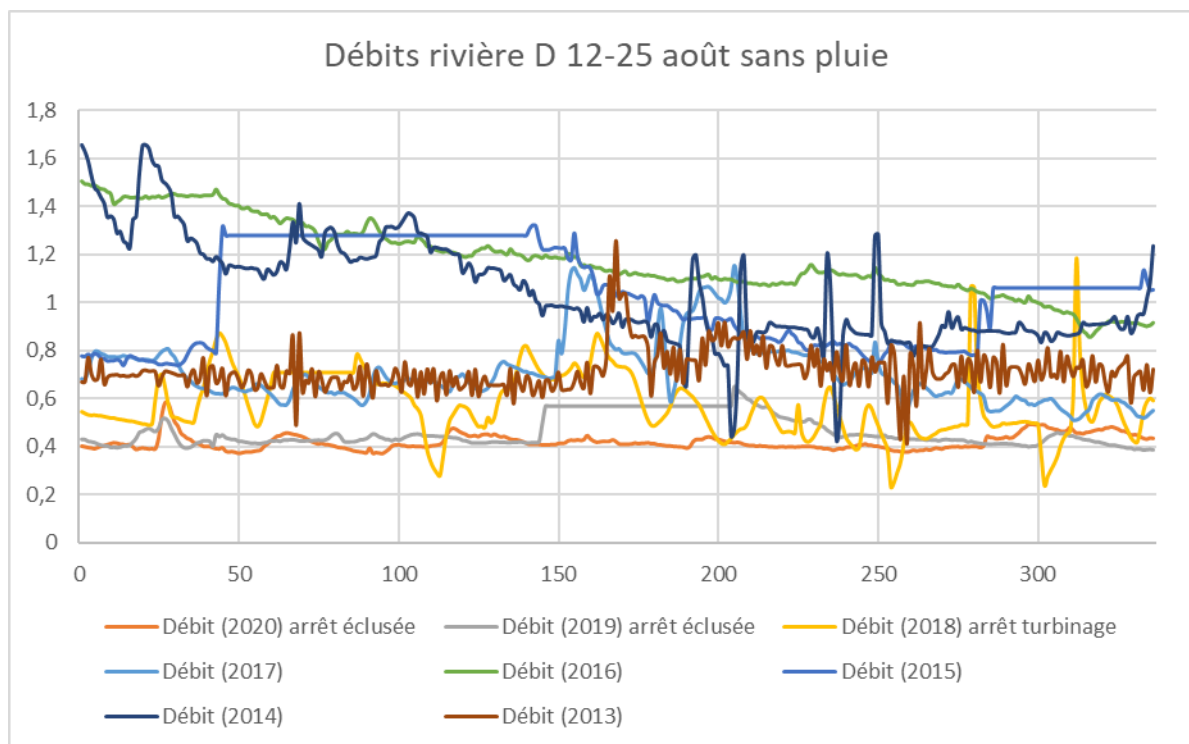


Figure 45 Hydrogramme de la rivière D sans pic de pluie

6. Rivière E

Sur les graphiques de hauteur ou de débit, nous voyons clairement un phénomène ayant lieu en 2013 et 2014. Selon Sébastien Gailliez (Hydrologue à la gestion des cours d'eau non navigables - SPW), il s'agit de lâchés d'eau des deux grands barrages. Les grands barrages de Wallonie ont trois rôles majeurs. Premièrement, ils fournissent de l'eau potable aux habitants aux alentours, entre autre les régions de Spa, Eupen, Verviers, Herve et Liège. Ensuite, ils régulent le débit de la rivière en aval. Ils permettent de limiter les crues en cas d'orage ou autres conditions climatiques sortant de la normale et d'assurer un débit dans la rivière D en aval. Et enfin, ces barrages produisent de l'électricité, aux alentours de 3 millions de kWh chacun. Cela correspond à la consommation de 1770 ménages.

Ces lâchés d'eau régissent le débit présent dans la rivière chaque année. Récemment, les variations de débit sont bien plus faibles qu'en 2013 mais elles existent toujours bel et bien. Depuis quelques années, les cours d'eau sont de mieux en mieux surveillés afin d'en assurer un bon état. Des variations plus faibles et un débit plus régulier sont meilleurs pour les populations piscicoles. Ils ne subissent pas de phénomène d'hydropicking qui consiste en des variations brusques du débit de la rivière. Comme expliqué précédemment dans les impacts, ces changements brusques de débit ne sont pas une bonne chose pour la faune et la flore. Ils peuvent avoir l'effet d'une « chasse d'eau » qui arracherait la végétation et emporterait une partie de la faune.

Sur la Figure 46 ou la Figure 47, nous pouvons observer cette variation de débit. Il y a un palier dans la courbe de 2013. Celui-ci correspond à la gamme de débit qui n'est que très peu mesurée dans la rivière. Plus la chute est importante, plus certaines valeurs de débit sont absentes des mesures. En revanche, les variations visibles en 2014 sur les hydrogrammes (Figure 48 et Figure 51) ne sont pas visibles sur les courbes de hauteurs ou débits classés.

Station E.a

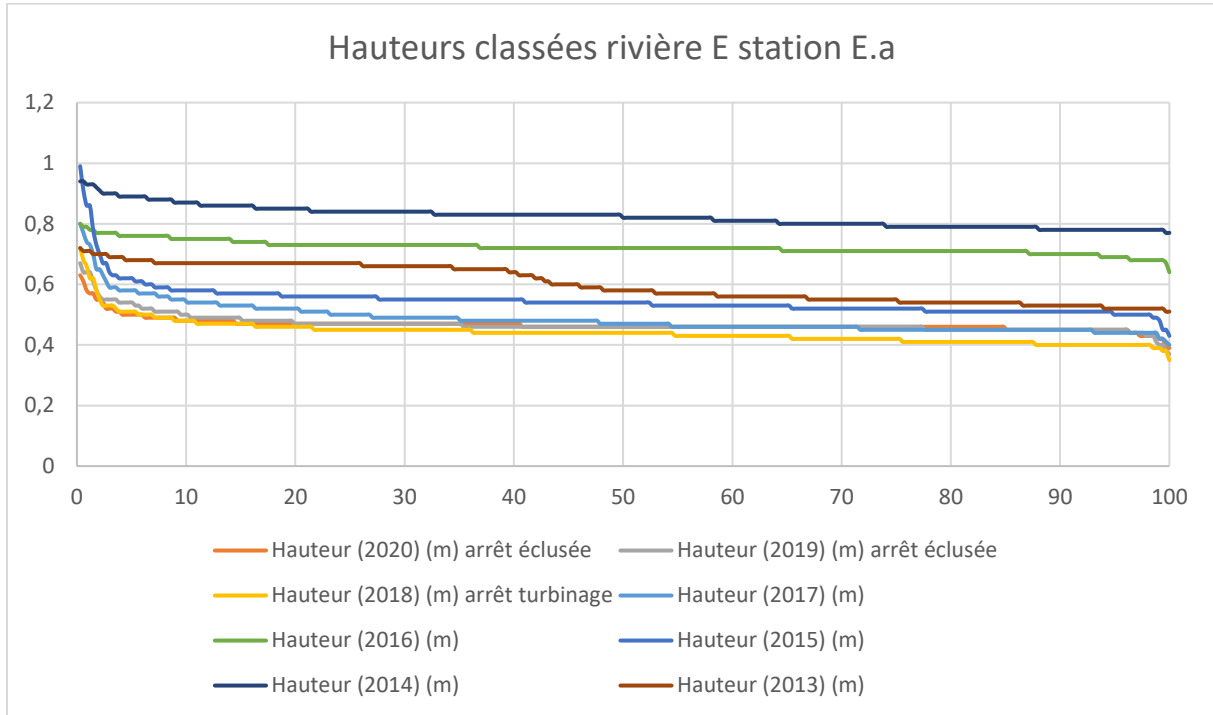


Figure 46 Courbe des hauteurs classées sur la rivière E station E.a

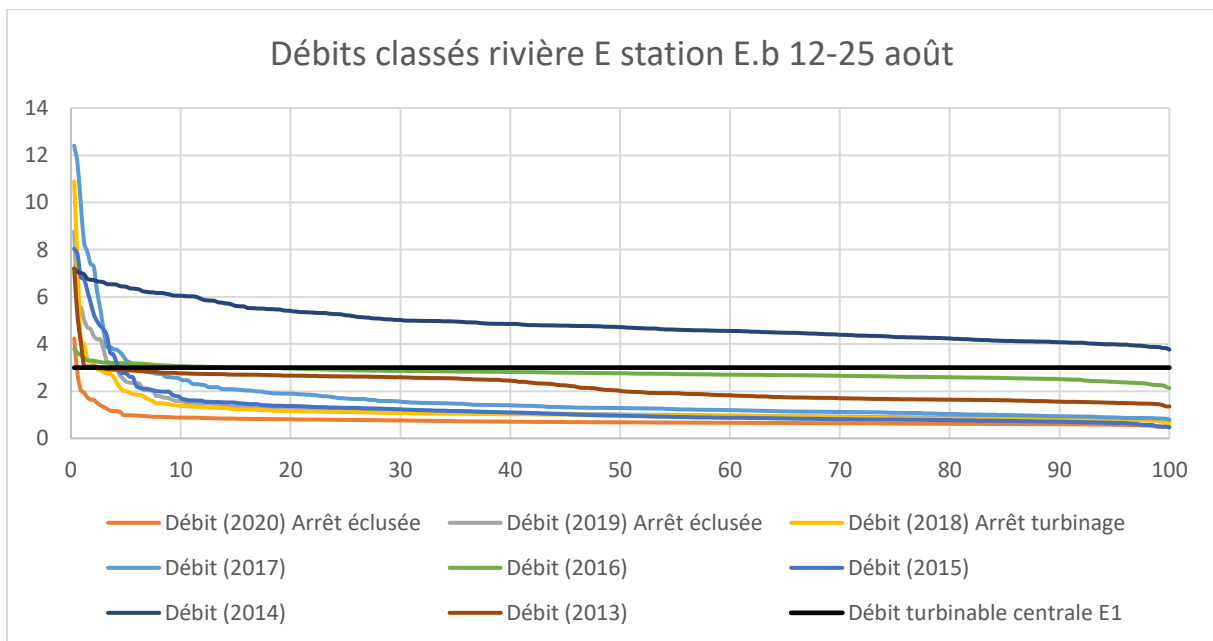


Figure 47 Courbe des débits classés sur la rivière E station E.b

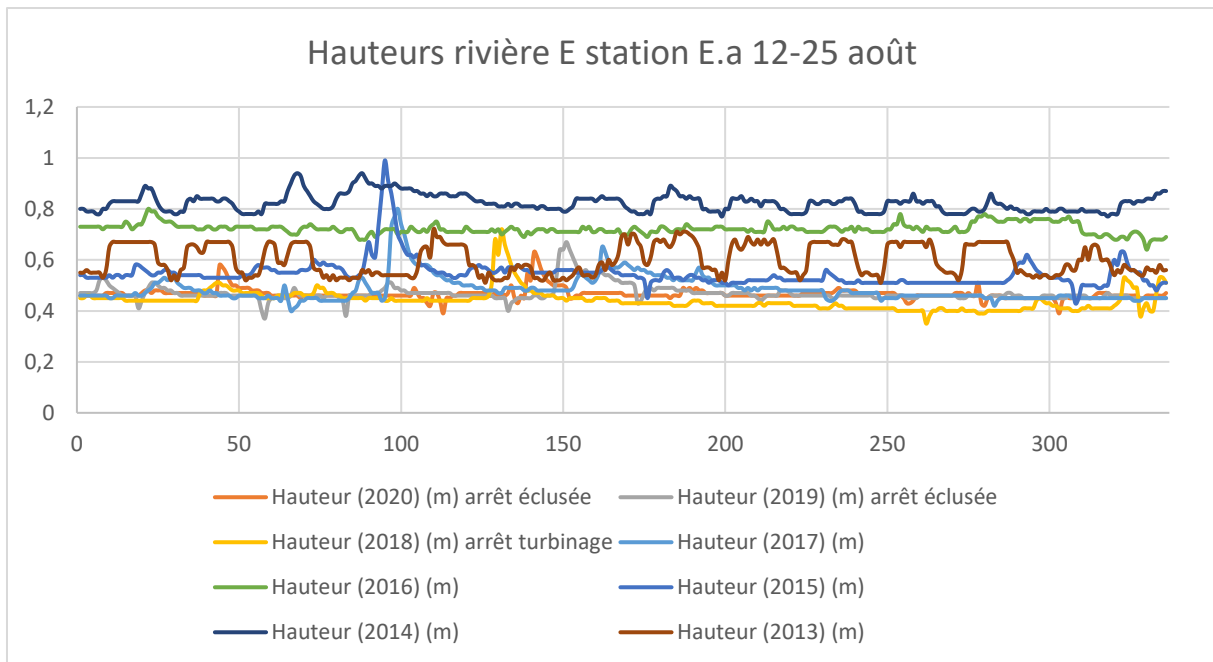


Figure 48 Hauteurs d'eau sur la rivière E station E.a

Rivière E station E.a				
	Ecarts-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie	F-test
2013	0,0265	3,2381	0,6444	4,6831E-08
2014	0,0127	2,6949	0,7938	
2015	0,0200	17,0275	1,8104	
2016	0,0106	2,5035	0,0839	
2017	0,0174	48,3706	4,6408	
2018	0,0172	39,2102	3,0189	
2019	0,0139	17,4178	1,4010	
2020	0,0158	24,4853	2,8050	

Tableau 10 Caractéristiques statistiques rivière E station E.a

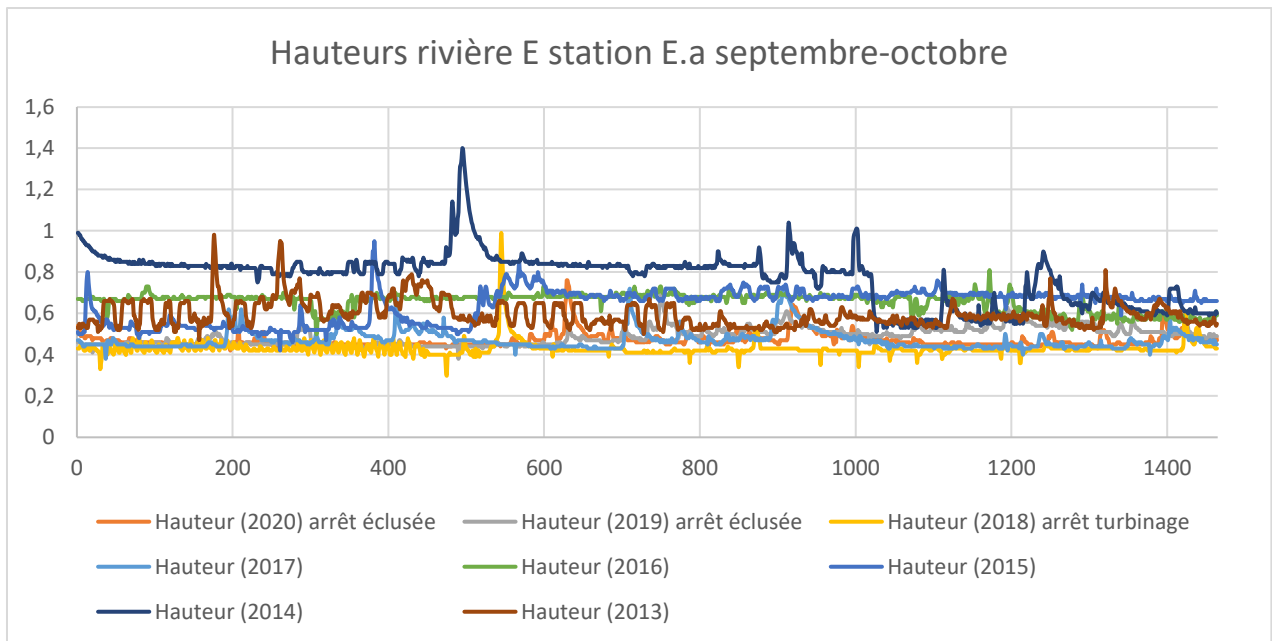


Figure 49 Hauteurs d'eau rivière E station E.a septembre-octobre

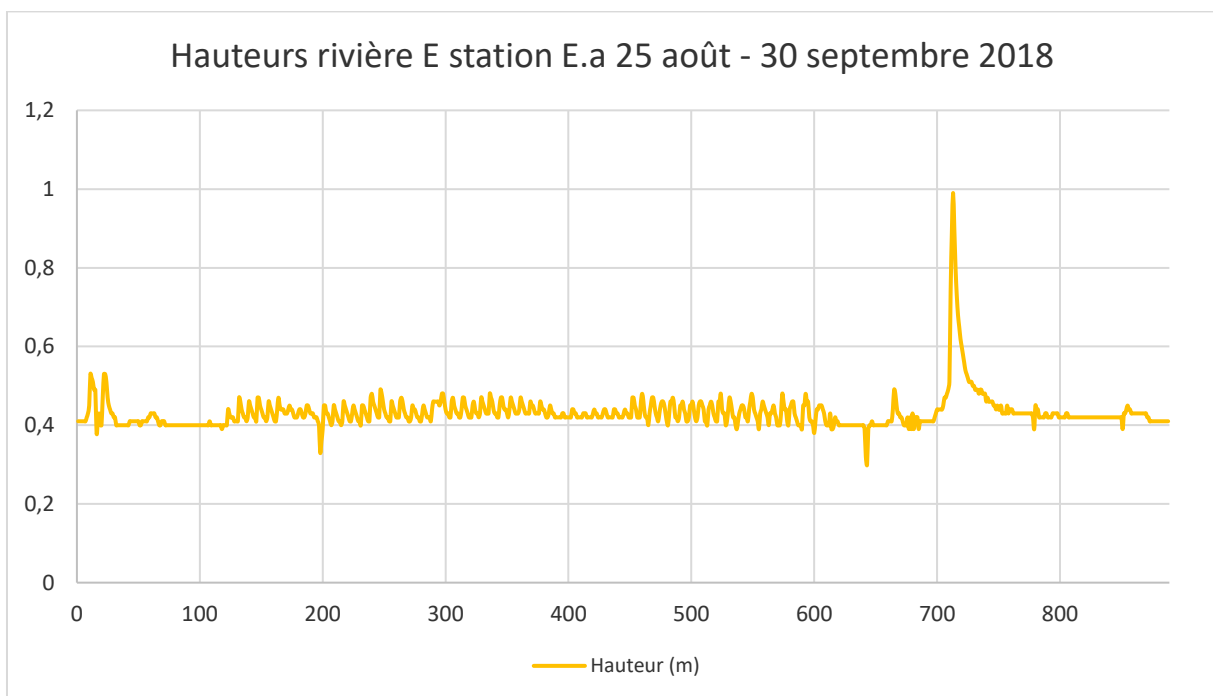


Figure 50 Hauteurs d'eau rivière E station E.a septembre

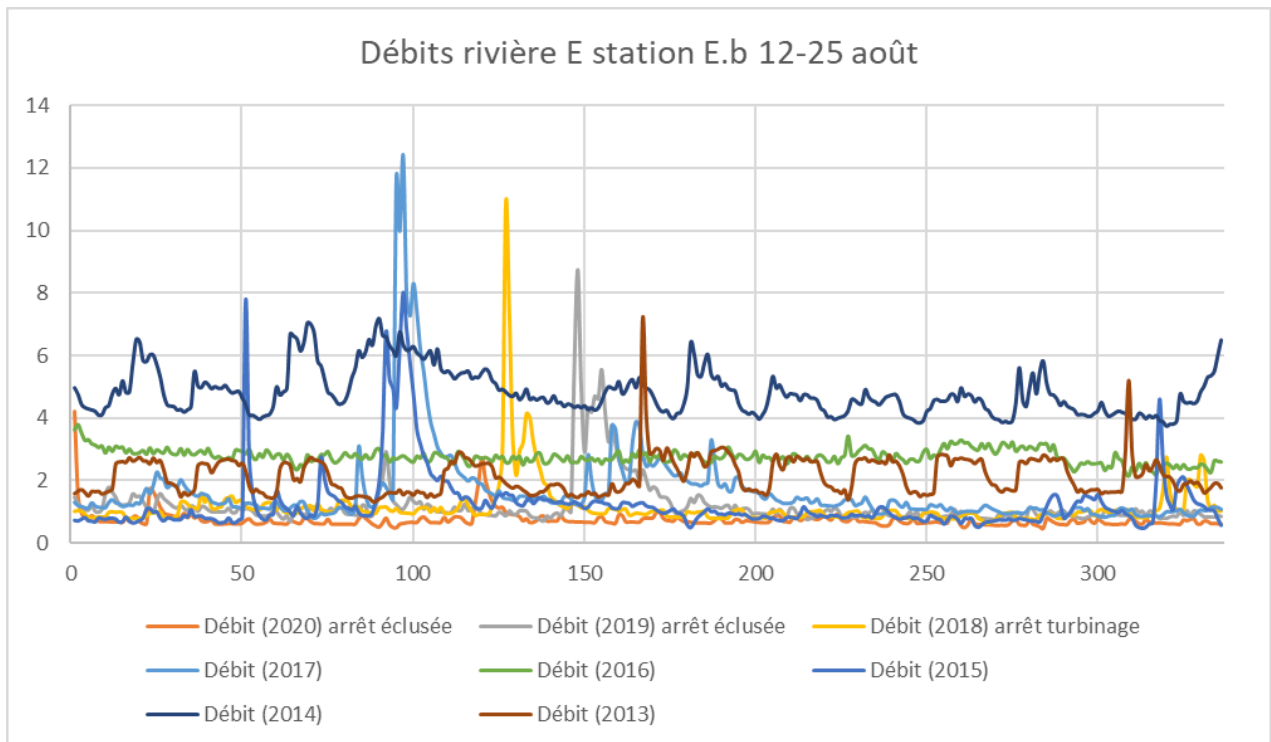


Figure 51 Hydrogramme de la rivière E station E.b

Rivière E station E.b				
	Ecart-types	Kurtosis	Coefficients d'asymétrie	F-test
2013	0,4428	74,3964	4,3967	1,7799E-05
2014	0,2955	6,5414	1,3200	
2015	0,6133	66,8110	3,4770	
2016	0,1584	0,6921	0,1134	
2017	0,6988	145,5557	8,9927	
2018	0,5662	130,8673	6,6845	
2019	0,4351	61,9922	2,4537	
2020	0,2010	103,5301	-6,6315	

Tableau 11 Caractéristiques statistiques rivière E station E.b

Au moment de vérifier si les variations régulières de 2013 se répétaient, d'autres irrégularités nous sont apparues. Un autre phénomène a lieu sur cette rivière, il s'agit de nombreuses petites variations de hauteur présentes uniquement en 2018 (Figure 49) pour lesquelles nous n'avons pas pu obtenir d'explications. Cela a lieu exclusivement dans l'intervalle entre le 1^{er} septembre et le 20 septembre (Figure 50). Aussi bien avant qu'après, nous ne pouvons plus l'observer.

Conclusion

En conclusion, une centrale hydroélectrique ne prive pas la rivière de son eau mais en modifie son écoulement. La quantité d'eau qui arrive en amont d'une centrale se retrouvera toujours en aval. L'analyse dépend énormément du régime de chaque cours d'eau. Pour chaque rivière, les perturbations de son débit proviennent de plusieurs origines comme les types de centrales, la pluviosité, les pompages des compagnies de distribution d'eau, les prélèvements des agriculteurs, certains réseaux d'égouttage après traitement de l'eau, ... Les raisons sont multiples et il est donc difficile d'isoler une origine par rapport aux autres.

Ce travail n'a pas permis de mettre en évidence un réel impact des centrales hydroélectriques sur les cours d'eau non navigables de Wallonie. Cela est dû en grande partie au fait que les propriétaires ou exploitants n'ont pas respecté les Arrêtés ministériels. S'il n'y a pas eu d'arrêt, il n'est pas possible de comparer des années avec turbinage et des années sans.

En revanche la méthode d'analyse permet de mettre en évidence les variations de débit au cours du temps sur un cours d'eau. Certains phénomènes apparaissent et poussent à la réflexion sur leur origine. En retirant les évènements pluvieux, des variations de débit apparaissent comme sur la rivière A. C'est une succession de variations de faibles amplitudes.

Le débit de la rivière C est plus calme pendant les années durant lesquelles la centrale C1 est à l'arrêt. Cette centrale n'est peut-être pas la seule à impacter la rivière mais nous voyons bien la différence entre les moments de fonctionnement et d'arrêt.

Sur la rivière E par exemple, une alternance de débits plus élevés suivi d'un retour à la normale a pu être observée. De telles variations poussent à la réflexion et après recherche, il s'avère que ce sont des lâchés d'eau effectués par les grands barrages.

Certains propriétaires de centrales ont fait part d'un fait commun. Il y a de moins en moins d'eau dans les rivières exploitées. Grâce aux différents graphiques, nous pouvons confirmer que la tendance générale serait à une diminution des niveaux d'eau en période d'étiage. Sur chacun des graphiques, nous voyons que plus nous remontons dans le temps sur les huit années prises en compte et plus les débits sont importants. Il ne s'agit pas là d'une vérité mais d'une tendance générale des rivières en Wallonie.

1. Axes d'amélioration

Afin de rendre meilleur ce travail et atteindre l'objectif initial, il ne faudrait se baser que sur des rivières sur lesquelles les centrales ont respecté les Arrêtés ministériels. Ensuite, une analyse statistique plus poussée pourrait être réalisée afin d'éventuellement mieux chiffrer les différences de débits observables sur les rivières.

2. Projection

Le débit dans les rivières n'est pas influencé uniquement par les constructions anthropiques. La topographie reprenant les zones forestières, les prairies, les zones urbanisées, etc, a bien évidemment un impact sur le ruissellement de l'eau vers la rivière. Une partie variable de l'eau ruisselle vers le lit du cours d'eau mais une autre partie s'infiltré dans le sol en fonction de la nature de celui-ci. La couverture végétale peut également jouer un rôle, une partie de la pluie se fait intercepter immédiatement par les feuilles et n'atteint jamais le sol.

Une idée d'amélioration de l'état des rivières a été soufflée par un propriétaire de centrale. Jusqu'à maintenant, les déchets collectés par le dégrilleur ne sont pas toujours récupérés, une partie poursuit sa route dans la rivière. Le râteau retire ce qui est bloqué contre le dégrilleur, emmène l'ensemble dans une rigole et le tout est remis à l'eau grâce à de l'eau pompée venant tout emporter. L'idée consisterait à financer la récupération de ces détritiques afin de les extraire du milieu naturel.

Comme expliqué précédemment, la gestion des petites centrales est extrêmement difficile à cause de la multiplicité des propriétaires. Il est compliqué de gérer efficacement toutes ces centrales autrement que par des interdictions générales en ne faisant pas du cas par cas. A l'avenir, il faudrait que les propriétaires collaborent entre eux et avec l'administration afin de prévenir et éviter les risques et dommages dus au turbinage des centrales.

Bibliographie

- [1] APERe ASBL, «Observation hydroélectricité,» [En ligne]. Available: <http://www.apere.org/fr/observatoire-hydroelectricite>.
- [2] SOFICO, «Centrales hydroélectriques,» [En ligne]. Available: <https://sofico.org/fr/energies-renouvelables/centrales-hydroelectriques/>.
- [3] M. Aghenie, *Cours de Moyen de Production, 2ième bachelier Energies Alternatives et Renouvelables*, 2017.
- [4] Commune de Houyet, «Les principaux types de turbine,» [En ligne]. Available: <http://moulindewanlin.be/la-centrale/les-principaux-types-de-turbine/>. [Accès le 2021].
- [5] M. HUART et J.-J. T'SERSTEVENS, «L'exploitation des ressources en eaux de surface en Région wallonne pour des usages hydroénergétiques,» 2006-2007.
- [6] M. Ovidio, J.-C. Philippart, F. Paquer, Y. Neus, G. Rimbaud et H. Capra, «Impacts de la mise en service d'une microcentrale hydroélectrique sur les populations de poissons de la Lhomme à Poix Saint-Hubert,» avril 2006.
- [7] Gouvernement Wallon, «Code de l'Eau,» 2005. [En ligne]. Available: <http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeeaucoordonneD.htm>. [Accès le 2021].
- [8] Service Public de Wallonie, «Réseau de mesure limnimétrique de la Direction des Cours d'Eau non navigables,» [En ligne]. Available: <http://aqualim.environnement.wallonie.be/login.do?time=1621083465262>.
- [9] SPW, *CHE_MAJOCT2020*.
- [10] P. Dagnelie, *Théorie et méthodes statistiques*, ERREUR PERIMES Presses agronomiques de Gembloux, 2000.
- [11] JLA Hydro, «La gamme Cross-Flow JLA,» [En ligne]. Available: <https://jlahydro.be/produits-2/turbines-cross-flow-jla/la-gamme-cross-flow-jla/>. [Accès le Mai 2021].
- [12] X. Ikonomakos, Interviewee, [Interview]. 2021.
- [13] S. Devetter, Interviewee, [Interview]. 2021.
- [14] T. Dony, Interviewee, [Interview]. 2021.
- [15] B. Fontaine, Interviewee, [Interview]. 2021.
- [16] N. Duchesne, Interviewee, [Interview]. 2021.
- [17] M. O. G. R. e. P. P. J.C. PHILIPPART, «ESSAI D'ESTIMATION DES DOMMAGES PISCICOLES ENGENDRES; CHAPITRE 7. LES CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES,» 2013.

- [18] A. Gamby, Interviewee, [Interview]. 2021.
- [19] IRM, «RELEVÉS ET ANALYSES,» [En ligne]. Available: <https://www.meteobelgique.be/article/relevés-et-analyses/la-suite>.
- [20] météoBelgique, «Relevés et analyses,» [En ligne]. Available: <https://www.meteobelgique.be/article/relevés-et-analyses/la-suite>. [Accès le 2021].
- [21] OTT HydroMet, «OTT PLS,» [En ligne]. Available: <https://www.ott.com/fr-fr/produits/le-niveau-deau-72/ott-pls-186/>. [Accès le 2021].
- [22] B. Padoan, «Energie: l'électricité verte s'écoule au barrage d'Anseremme,» [En ligne]. Available: <https://plus.lesoir.be/357056/article/2021-02-24/energie-lelectricite-verte-secoule-au-barrage-danseremme#:~:text=Fabriqu%C3%A9e%20par%20l'entreprise%20herstaloise,consommation%20d'environ%202.000%20m%C3%A9gawatts>.

Banque d'images

Image de couverture : <https://www.renouvelle.be/fr/de-petits-producteurs-hydroelectriques-en-perte-seche/>

Figure 1 : <http://apere.org/fr/observatoire-hydroelectricite>

Figure 2 : <http://apere.org/fr/observatoire-hydroelectricite>

Figure 3 : <http://apere.org/fr/observatoire-hydroelectricite>

Figure 4 : <http://apere.org/fr/observatoire-hydroelectricite>

Figure 5 : <http://coopcec.be/wcec/visites-de-sites-avec-les-kisskissbankersbis/>

Figure 6 : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1905>

Figure 7 : <https://www.cirkwi.com/fr/point-interet/635807-le-fonctionnement-d-une-centrale-hydroelectrique>

Figure 8 : <http://turbines.free.fr/types.htm#:~:text=Les%20turbines%20%C3%A0%20action%20ont,%C3%A0%20la%20pression%20de%20sortie.&text=Une%20turbine%20%C3%A0%20r%C3%A9action%20est,de%20la%20diff%C3%A9rence%20de%20pression>

Figure 9 : <http://moulindewanlin.be/la-centrale/les-principaux-types-de-turbine/>

Figure 10 : https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Banki

Figure 11 : <http://antoine.petiteau.pagesperso-orange.fr/EnergiesRenouvelables/Hydraulique.html>

Figure 12 : <https://lamh.gmc.ulaval.ca/turbines-en-bref/turbine-kaplan-et-helices/>

Figure 13 : https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Kaplan

Figure 14 : https://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/epreuve-de-sciences-de-ingenieur-juin-2015-metropole-0

Figure 15 : <https://www.pinterest.fr/pin/180495897546846359/>

Figure 16 : <https://www.energystream-wavestone.com/2014/02/fiche-synthese-production-decentralisee-la-petite-hydraulique/>

Figure 17 : <https://www.energystream-wavestone.com/2014/02/fiche-synthese-production-decentralisee-la-petite-hydraulique/>

Figure 23 : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/103375/1/ImpactcentralehydroArdennes.pdf>

Annexes

1. Arrêtés ministériels

Annexe 1

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

ARRETE MINISTERIEL SUSPENDANT TEMPORAIREMENT TOUTE EXPLOITATION HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES.

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4° de la constitution ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1° et 6°, et 5 ;

Vu la loi spéciale du 08 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 août 2017 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 28 juillet 2017 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu la situation exceptionnelle, un centre de crise « groupe sécheresse » s'est tenue au centre régional de crise de Namur, le 06 août 2018;

Vu le compte-rendu de cette réunion du centre de crise et particulièrement le tableau de synthèse des débits mesurés par stations de références qui y a été exposé ;

Considérant les conditions météorologiques et hydrologiques exceptionnelles persistantes depuis plusieurs semaines ;

Considérant que ces conditions ont généré des étiages sévères, tant dans la durée que dans l'intensité, sur l'ensemble des cours d'eau non navigables ;

Considérant que ces étiages sévères observés sur les cours d'eau non navigables sont caractérisés par des périodes de retour supérieures à 20 ans voire 50 ans ;

Considérant que les écosystèmes aquatiques sont particulièrement fragilisés par ces situations extrêmes ;

Considérant que le mode de fonctionnement par éclusées accentue les débits extrêmes sur les tronçons de cours d'eau ;

Considérant que, de ce fait, la libre circulation des poissons est altérée ;

Considérant que malgré les précipitations annoncées, le débit des cours d'eau ne reviendra pas à une situation normale dans les jours à venir ;


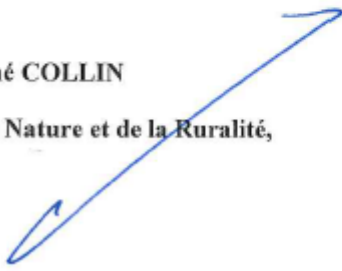
Considérant la nécessité de préserver l'enjeu écologique collectif et principalement les écosystèmes aquatiques ;

ARRETE:

Article 1^{er}. Toute exploitation hydroélectrique sur toutes les catégories de cours d'eau non navigables est suspendue temporairement à l'exception des centrales implantées sur les grands barrages-réservoirs.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le 08 AOUT 2018


René COLLIN
Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,


SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL ABROGEANT L'ARRETE MINISTERIEL DU 08 AOUT
2018 SUSPENDANT TEMPORAIREMENT L'EXPLOITATION
HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES.**

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4^o de la constitution ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1^o et 6^o, et 5 ;

Vu la loi spéciale du 08 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 août 2017 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 28 juillet 2017 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Considérant l'Arrêté Ministériel du 08 août 2018 suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables ;

Considérant que les risques d'étiages sévères, tant dans la durée que dans l'intensité, sur l'ensemble des cours d'eau non navigables, sont actuellement écartés ;

Considérant dès lors que les écosystèmes aquatiques ne sont plus particulièrement fragilisés par ces situations extrêmes ;

Considérant que le risque sanitaire est amoindri ;

Considérant que la libre circulation des poissons n'est plus altérée ;

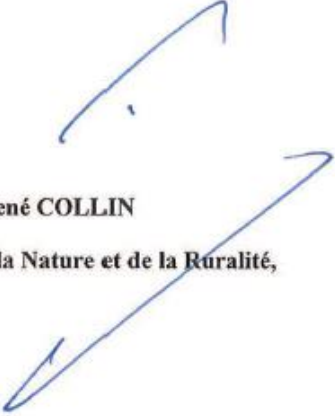
Considérant que les précipitations annoncées vont induire un retour progressif des débits des cours d'eau à une situation normale dans les jours à venir ;

ARRETE:

Article 1^{er}. L'Arrêté ministériel du 08 août 2018 suspendant temporairement l'exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables est abrogé.

Article. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le 24 SEP, 2018



René COLLIN

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL SUSPENDANT TEMPORAIREMENT TOUTE
EXPLOITATION HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON
NAVIGABLES.**

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4^o de la constitution ;

Vu de la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, l'article 1^{er}, l'article 2, 1^o et 6^o et l'article 5 ;

Vu la loi spéciale de réformes institutionnelles du 08 août 1980, article 6 §1^{er}, III ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 28 juillet 2017 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 août 2017 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Considérant les conditions météorologiques et hydrologiques exceptionnelles persistantes depuis plusieurs semaines ;

Considérant que ces conditions ont généré des étiages sévères, tant dans la durée que dans l'intensité, sur l'ensemble des cours d'eau non navigables ;

Considérant que ces étiages sévères observés sur les cours d'eau non navigables sont caractérisés par des périodes de retour supérieures à 20 ans voire 50 ans ;

Considérant que les écosystèmes aquatiques sont particulièrement fragilisés par ces situations extrêmes ;

Considérant que de ce fait la libre circulation des poissons est altérée ;

Considérant que le mode de fonctionnement par éclusées accentue les débits extrêmes sur les tronçons de cours d'eau ;

Considérant la nécessité de préserver l'enjeu écologique collectif et principalement les écosystèmes aquatiques ;

Vu la persistance de la situation exceptionnelle, le « groupe sécheresse » s'est réuni au Centre régional de Crises de Namur, ce 19 octobre 2018 ;

Vu le compte-rendu de cette réunion du centre de crise et particulièrement le tableau de synthèse des débits mesurés par stations de références qui y a été exposé ;

ARRETE:

Article 1er : Toute exploitation hydroélectricité sur toutes les catégories de cours d'eau non navigables est suspendue temporairement, à l'exception des centrales implantées sur les grands barrages-réservoirs, et celles fonctionnant à niveau amont constant et installées au fil de l'eau.

Article 2 : Tout fonctionnement à l'écluse est totalement interdit pour l'ensemble des centrales hydro-électriques.

Article 3 : Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le 28 OCT. 2018



René COLLIN

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL ABROGEANT L'ARRETE MINISTERIEL DU 26
OCTOBRE 2018 SUSPENDANT TEMPORAIREMENT TOUTE EXPLOITATION
HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES**

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4^o de la constitution ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^o, 2, 1^o et 6^o, et 5 ;

Vu la loi spéciale du 8 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^o, III ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 28 juillet 2017 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 août 2017 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté ministériel du 26 octobre 2018 suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables ;

Considérant que les risques d'étiages sévères, tant dans la durée que dans l'intensité, sur l'ensemble des cours d'eau non navigables, sont actuellement écartés ;

Considérant dès lors que les écosystèmes aquatiques ne sont plus particulièrement fragilisés par ces situations extrêmes ;

Considérant que le risque sanitaire est amoindri ;

Considérant que la libre circulation des poissons n'est plus altérée ;

Considérant que les précipitations annoncées vont induire un retour progressif de débits des cours d'eau à une situation normale dans les jours à venir ;

Considérant le compte-rendu de cette réunion du Centre de crise et particulièrement le tableau de synthèse des débits mesurés par stations de références qui y a été exposé au Centre régional de Crises de Namur, ce 26 novembre 2018 ;

ARRETE :

Article 1er. L'arrêté ministériel suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables du 26 octobre 2018 est abrogé.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le

05 DEC. 2018

René COLLIN



SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL SUSPENDANT TEMPORAIREMENT TOUTE
EXPLOITATION HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON
NAVIGABLES.**

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4° de la constitution ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1° et 6°, et 5 ;

Vu la loi spéciale du 8 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu le Code de l'eau, notamment les articles D.1^{er}, D.33/1 et D.33/2 ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 août 2017 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 28 juillet 2017 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu la situation hydrologique et météorologique, un centre de crise « groupe sécheresse » s'est tenu au centre régional de crise de Namur, le 10 juillet 2019 ;

Vu le compte-rendu de cette réunion du centre de crise et particulièrement le tableau de synthèse des débits mesurés par stations de références qui y a été exposé ;

Considérant les conditions météorologiques et hydrologiques liées à un déficit en précipitations depuis plusieurs semaines et liées à une faible recharge hivernale des nappes phréatiques ;

Considérant que ces conditions ont généré des étiages importants en intensité, sur la majorité des cours d'eau non navigables ;

Considérant que ces étiages importants observés sur certains cours d'eau non navigables sont caractérisés par des périodes de retour supérieures à 20 ans voire 50 ans ;

Considérant que les écosystèmes aquatiques sont particulièrement fragilisés par ces situations exceptionnelles ;

Considérant que le mode de fonctionnement par éclusées accentue les débits extrêmes sur les tronçons de cours d'eau ;

Considérant que, de ce fait, la libre circulation des poissons est altérée ;

Considérant que malgré les précipitations annoncées, le débit des cours d'eau ne reviendra pas à une situation normale dans les jours à venir ;

Considérant la nécessité de préserver l'enjeu écologique collectif et principalement les écosystèmes aquatiques ;

ARRETE:

Article 1^{er}. Toute exploitation hydroélectrique sur toutes les catégories de cours d'eau non navigables est suspendue temporairement à l'exception des centrales implantées sur les grands barrages-réservoirs.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le 10 JUIL. 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of a long horizontal stroke with a small loop at the end, and a shorter horizontal stroke above it with a small loop at the end.

René COLLIN

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

**ARRETE MODIFICATIF DE L'ARRETE MINISTERIEL DU 10 JUILLET 2019
SUSPENDANT TEMPORAIREMENT TOUTE EXPLOITATION
HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES.**

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4° de la constitution ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1° et 6°, et 5 ;

Vu la loi spéciale du 8 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu le Code de l'eau, notamment les articles D.1^{er}, D.33/1 et D.33/2 ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 3 août 2017 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 28 juillet 2017 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu l'arrêté ministériel du 10 juillet 2019 suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables ;

Considérant qu'il y a lieu de modifier l'arrêté ministériel précité ci-avant afin d'exclure les centrales fonctionnant à niveau amont constant et installées au fil de l'eau du champ d'application de cet arrêté ministériel ;

Considérant, en effet, que les turbines hydrodynamiques sont considérées—comme ichtyocompatibles ; que ces turbines qui fonctionnent en niveau d'eau amont constant et qui sont installées au fil de l'eau, permettent en tout temps la libre circulation des poissons ;

ARRETE:

Article 1^{er}. À l'article 1^{er} de l'arrêté ministériel du 10 juillet 2019 suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables, il est précisé que toute exploitation hydroélectrique sur toutes les catégories de cours d'eau non navigables est suspendue temporairement à l'exception :

1° des centrales implantées sur les grands barrages-réservoirs, et ;

2° des centrales fonctionnant à niveau amont constant et installées au fil de l'eau.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le 23 juillet 2019.

Namur, le **23 JUIL. 2019**

René COLLIN

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL ABROGEANT L'ARRETE MINISTERIEL DU
10 JUILLET 2019 SUSPENDANT TEMPORAIREMENT TOUTE EXPLOITATION
HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES.**

Le Ministre de la Nature et de la Ruralité,

Vu l'article 23, 4° de la constitution ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1° et 6°, et 5 ;

Vu la loi spéciale du 8 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu le Code de l'eau, les articles D.1^{er}, D.33/1 et D.33/2 ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 septembre 2019 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 26 septembre 2019 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté ministériel du 10 juillet 2019 suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables, modifié par l'arrêté ministériel du 23 juillet 2019 ;

Considérant les conditions météorologiques et hydrologiques des dernières semaines ;

Considérant que les précipitations de ces derniers jours ont relevé suffisamment le niveau des cours d'eau et que les précipitations annoncées pour les prochains jours vont induire un retour progressif des débits des cours d'eau à une situation normale ;

Considérant que les risques d'étiages sévères, tant dans la durée que dans l'intensité, sont actuellement écartés sur l'ensemble des cours d'eau non navigables ;

Considérant dès lors que les écosystèmes aquatiques ne sont plus particulièrement fragilisés par ces situations extrêmes ;

Considérant que le risque sanitaire est amoindri ;

Considérant que la libre circulation des poissons n'est plus altérée ;

ARRETE:

Article 1^{er}. L'arrêté ministériel du 10 juillet 2019 suspendant temporairement toute exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables, modifié par l'arrêté ministériel du 23 juillet 2019, est abrogé.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le 28.11.19



Céline TELLIER

La Ministre de l'Environnement, de la Nature et de la Ruralité

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL SUSPENDANT TEMPORAIREMENT L'EXPLOITATION
HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES EN RAISON
DE LA SECHERESSE EXCEPTIONNELLE.**

La Ministre de l'Environnement, de la Nature, de la Forêt, de la Ruralité et du Bien-être animal,

Vu l'article 23, 4° de la constitution ;

Vu la loi spéciale du 8 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu le Livre II du Code de l'Environnement constituant le Code de l'Eau, les articles D.1^{er}, D.33/1, D.33/2 et D.45 ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux M(2009)1 du 16 juin 2009 abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1^o et 6^o, et 5 ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 septembre 2019 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon 26 septembre 2019 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu le compte-rendu de la réunion du 1^{er} juin 2020 du centre régional de crise, en particulier le tableau de synthèse des débits mesurés par stations de références qui y a été exposé ;

Considérant les conditions météorologiques et hydrologiques exceptionnelles persistantes depuis plusieurs semaines ;

Considérant que ces conditions ont généré des étiages précoces par rapport aux dernières années sur un grand nombre de cours d'eau non navigables ;

Considérant que ces étiages sont observés principalement sur les cours d'eau non navigables impactés par l'hydroélectricité comme la Vesdre et la Meuse par exemple ;

Considérant que les écosystèmes aquatiques sont particulièrement fragilisés par ces situations ;

Considérant que le mode de fonctionnement par éclusées accentue les débits extrêmes sur les tronçons de cours d'eau ; considérant que, de ce fait, la libre circulation des poissons est altérée ;

Considérant qu'un des impacts majeurs d'une exploitation hydroélectrique est lié au travail « par éclusées » avec des variations de niveaux d'eau incessantes et une accentuation des débits extrêmes, pénalisant de ce fait les écosystèmes aquatiques ;

Considérant par contre que les turbines hydrodynamiques sont considérées, à ce stade, comme ichtyo-compatibles par la Région wallonne, se basant sur plusieurs études internationales ;

Considérant que ces turbines fonctionnent « au fil de l'eau » avec des consignes de niveaux d'eau amont constants, favorisant la conservation des écosystèmes aquatiques ;

Considérant que peu de précipitations sont annoncées, et que de ce fait les débits des cours d'eau va continuer à diminuer rapidement ;

Considérant la nécessité de préserver l'enjeu écologique collectif et principalement les écosystèmes aquatiques ;

ARRÊTE :

Art. 1^{er}. Toute exploitation hydroélectrique sur toutes les catégories de cours d'eau non navigables est suspendue temporairement à l'exception des centrales implantées sur les grands barrages-réservoirs et des centrales fonctionnant à niveau d'eau amont constant.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

Namur, le - 6 JUIL. 2020



La Ministre,

Céline TELLIER

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**ARRETE MINISTERIEL ABROGEANT L'ARRETE MINISTERIEL DU
6 JUILLET 2019 SUSPENDANT TEMPORAIREMENT L'EXPLOITATION
HYDROELECTRIQUE SUR LES COURS D'EAU NON NAVIGABLES.**

La Ministre de l'Environnement, de la Nature, de la Forêt, de la Ruralité et du Bien-être animal,

Vu l'article 23, 4° de la constitution ;

Vu la loi spéciale du 8 août 1980 sur les réformes institutionnelles, article 6, §1^{er}, III ;

Vu le Livre II du Code de l'Environnement constituant le Code de l'eau, les articles D.1^{er}, D.33/1 et D.33/2 ;

Vu la décision du Comité de Ministres de l'Union économique Benelux abrogeant et remplaçant la Décision M (96) 5 du 26 avril 1996 relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques Benelux, articles 1^{er}, 2, 1° et 6°, et 5 ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 septembre 2019 fixant la répartition des compétences entre les Ministres et réglant la signature des actes du Gouvernement ;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 26 septembre 2019 portant règlement du fonctionnement du Gouvernement ;

Vu l'arrêté ministériel du 6 juillet 2020 suspendant temporairement l'exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables en raison de la sécheresse exceptionnelle ;

Vu le compte-rendu de la réunion du 6 octobre 2020 du centre régional de crise indiquant que la situation s'est particulièrement améliorée pour les cours d'eau navigables et non-navigables, qui retrouvent globalement des débits conformes à la normale ;

Considérant l'évolution des conditions météorologiques et hydrologiques des dernières semaines ;

Considérant que les précipitations importantes de ces derniers jours ont relevé suffisamment le niveau des cours d'eau et que les précipitations annoncées pour les prochains jours vont induire un retour progressif des débits des cours d'eau à une situation normale ;

Considérant que les risques d'étiages sévères, tant dans la durée que dans l'intensité, sont actuellement écartés sur l'ensemble des cours d'eau non navigables ;

Considérant dès lors que les écosystèmes aquatiques ne sont plus particulièrement fragilisés par ces situations extrêmes ;

Considérant que le risque sanitaire est amoindri ;

4 * Considérant que la libre circulation des poissons n'est plus altérée ;

ARRETE :

Article 1^{er}. L'arrêté ministériel du 6 juillet 2020 suspendant temporairement l'exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau non navigables en raison de la sécheresse exceptionnelle est abrogé.

Art. 2. Le présent arrêté entre en vigueur le jour de sa signature.

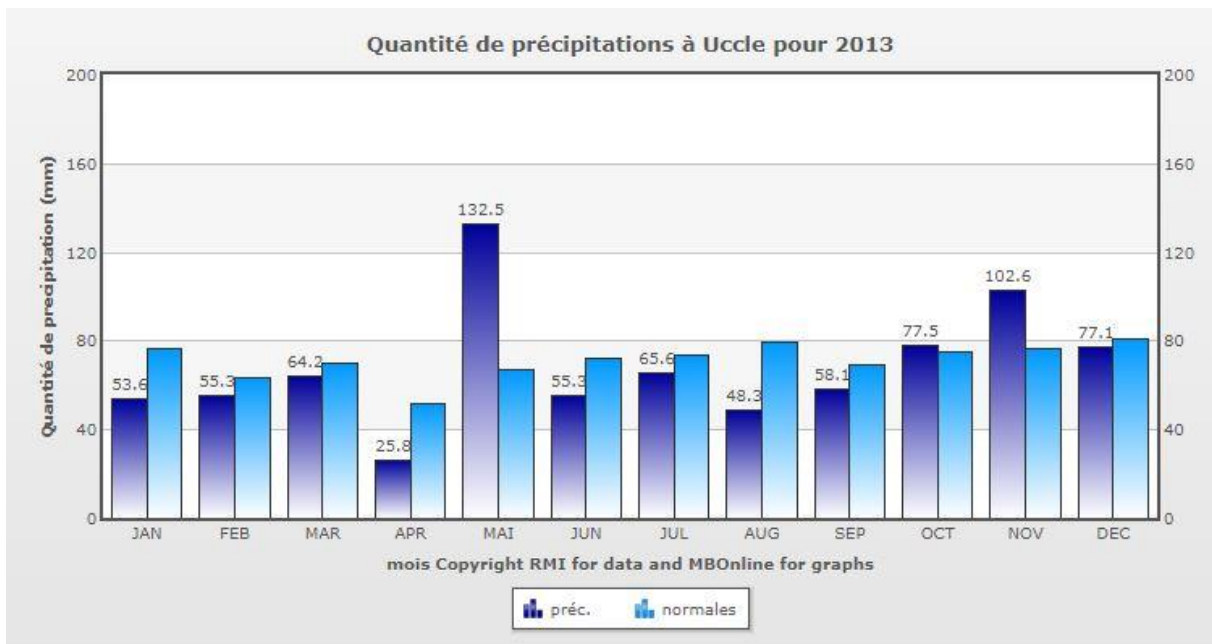
Namur, le **21 OCT. 2020**



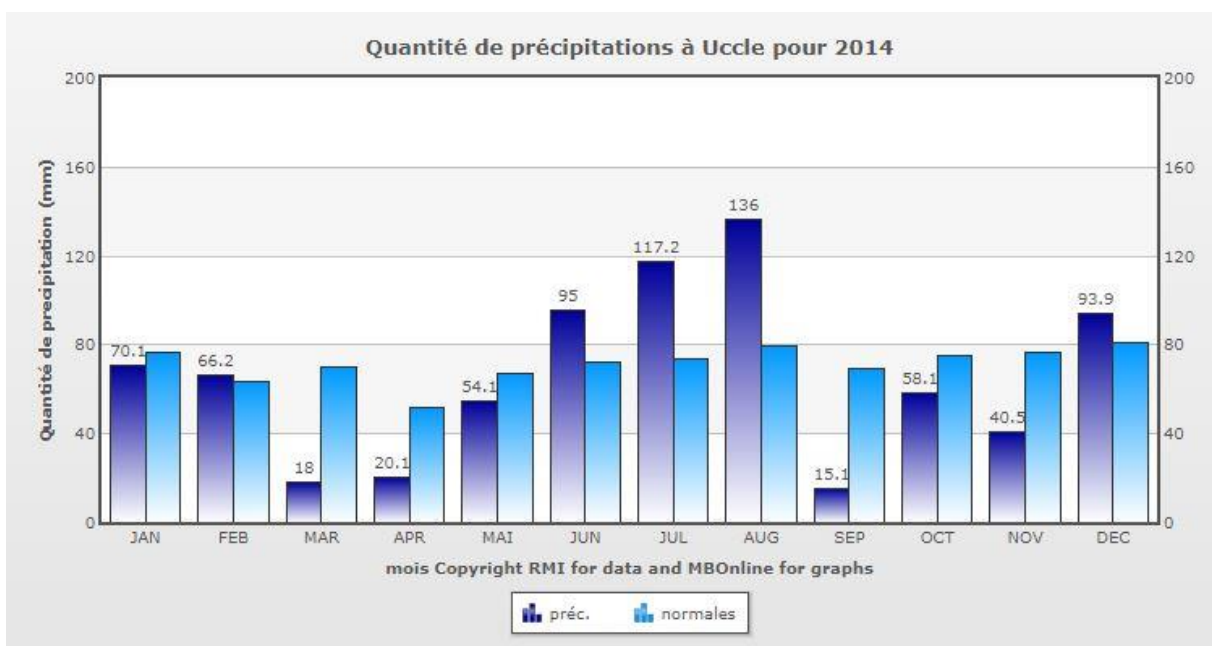
Céline TELLIER

2. Précipitations

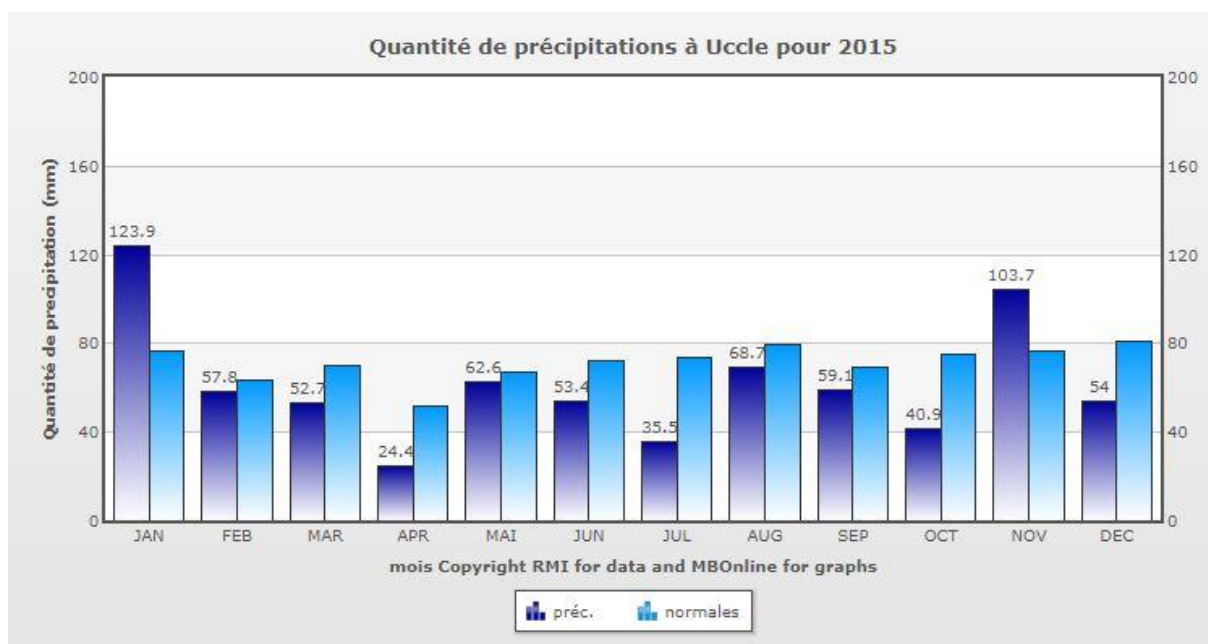
Annexe 10



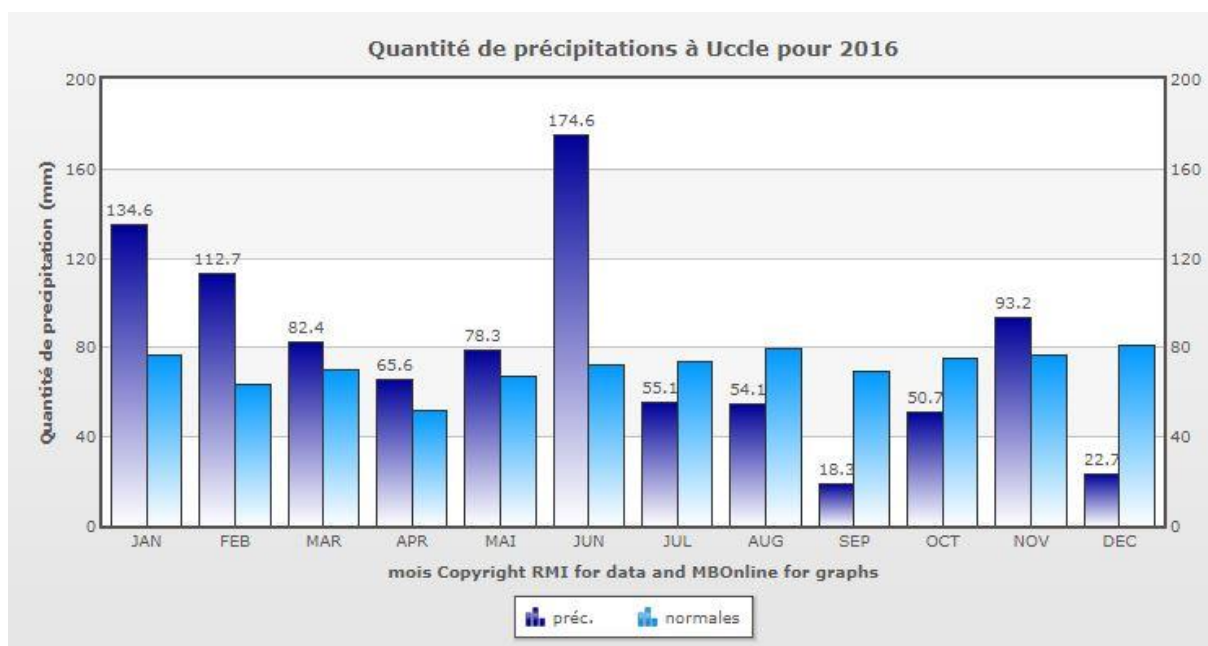
Annexe 11



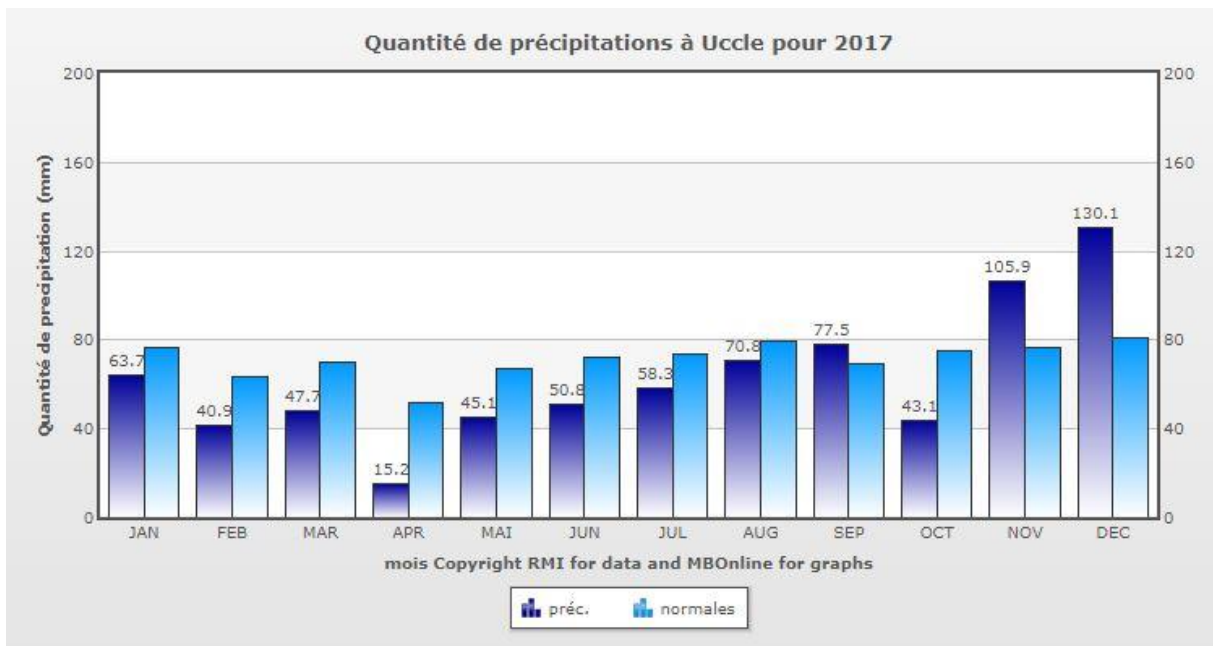
Annexe 12



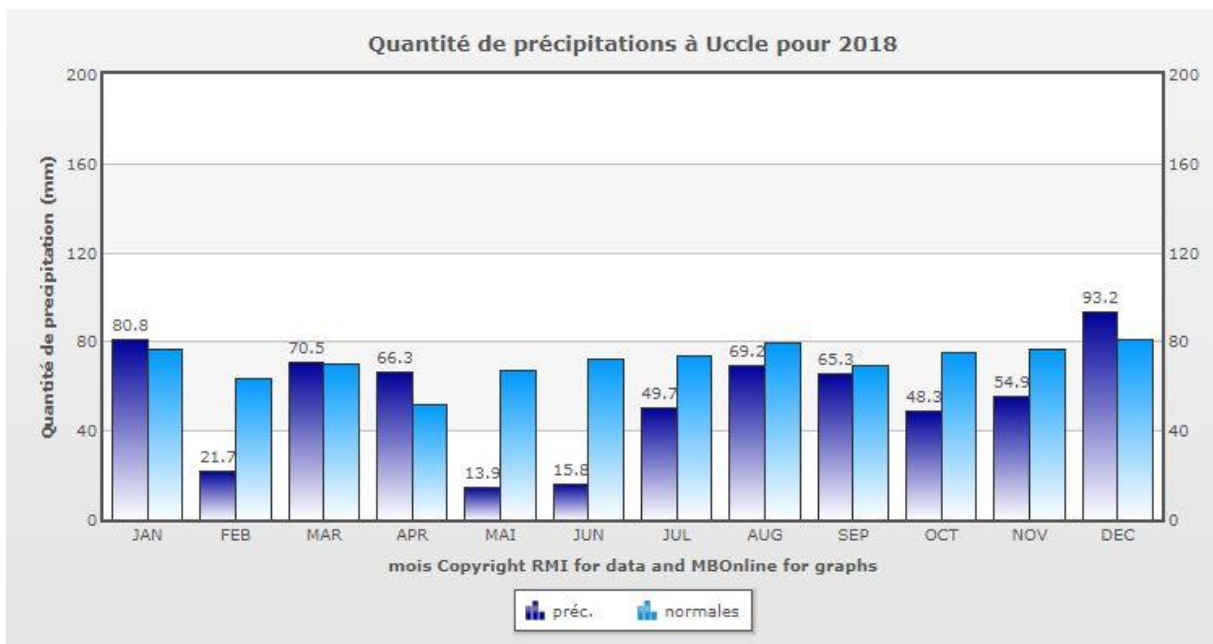
Annexe 13



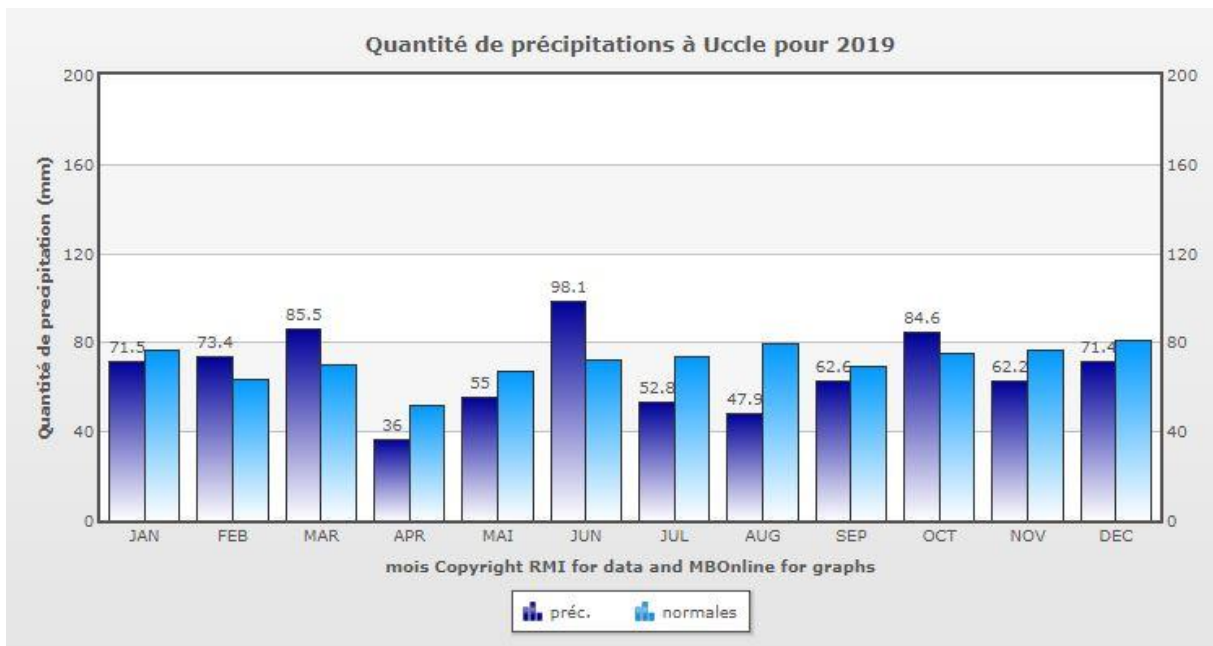
Annexe 14



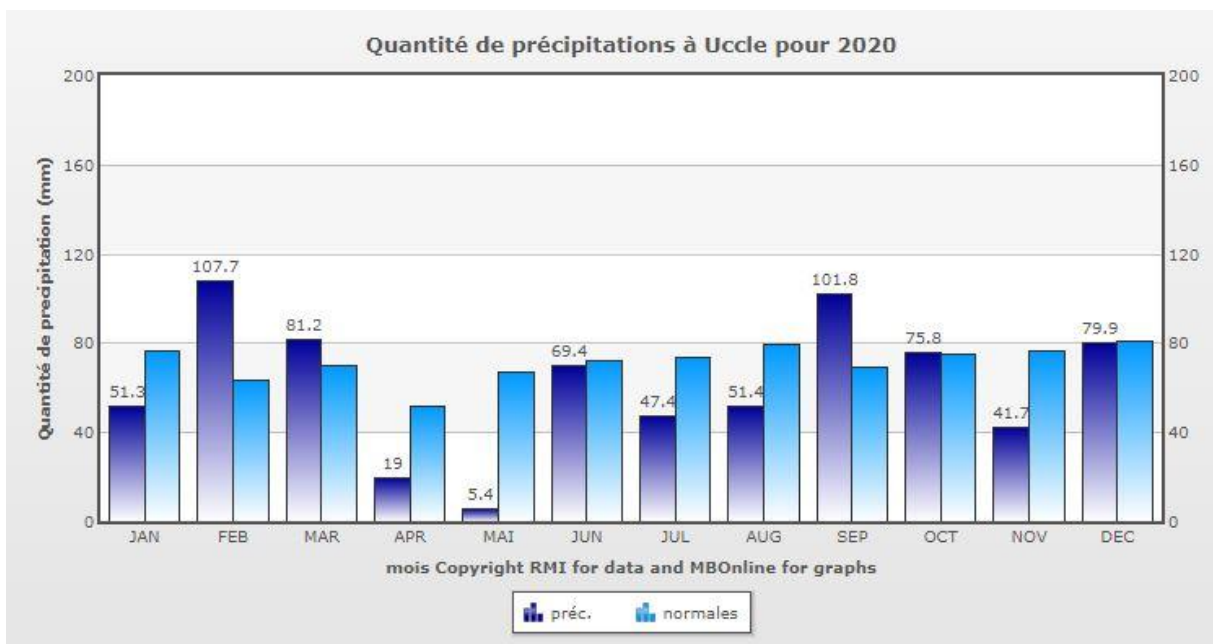
Annexe 15



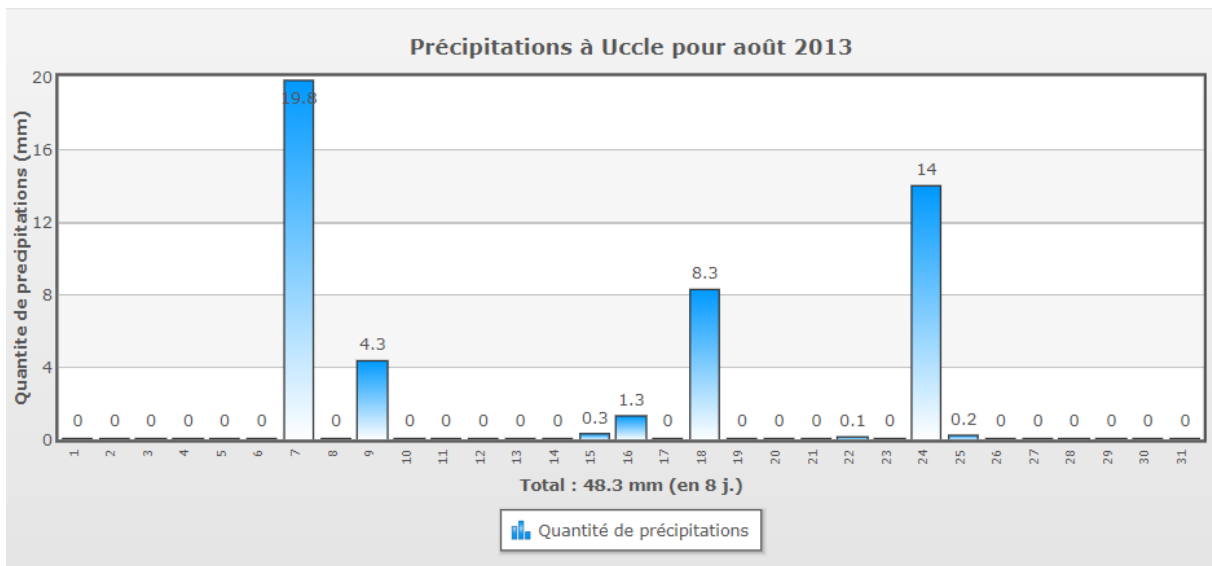
Annexe 16



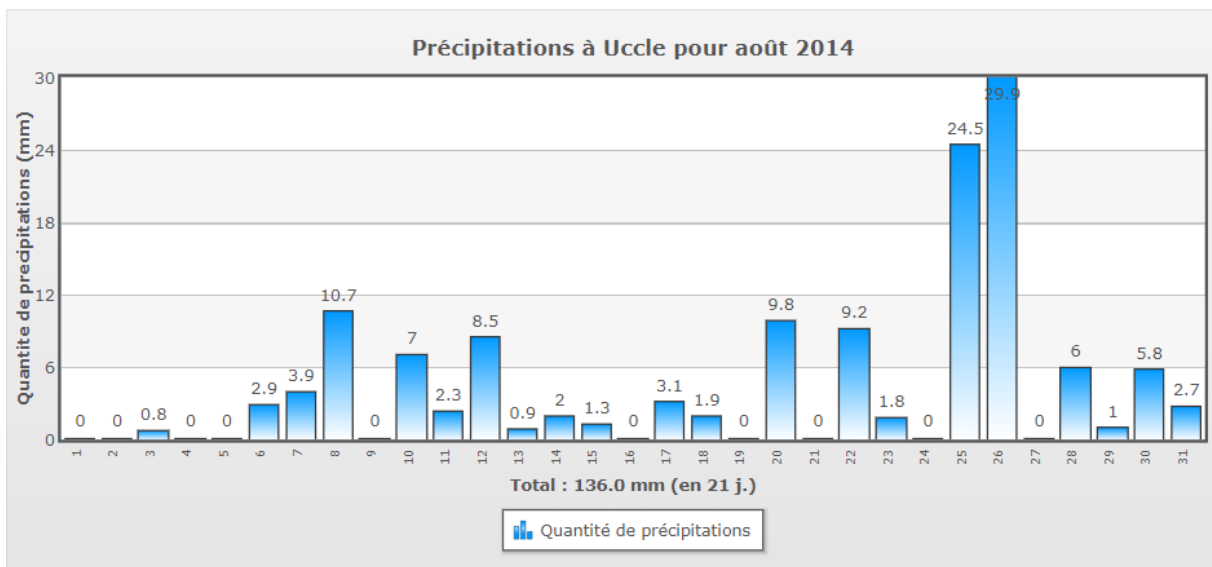
Annexe 17



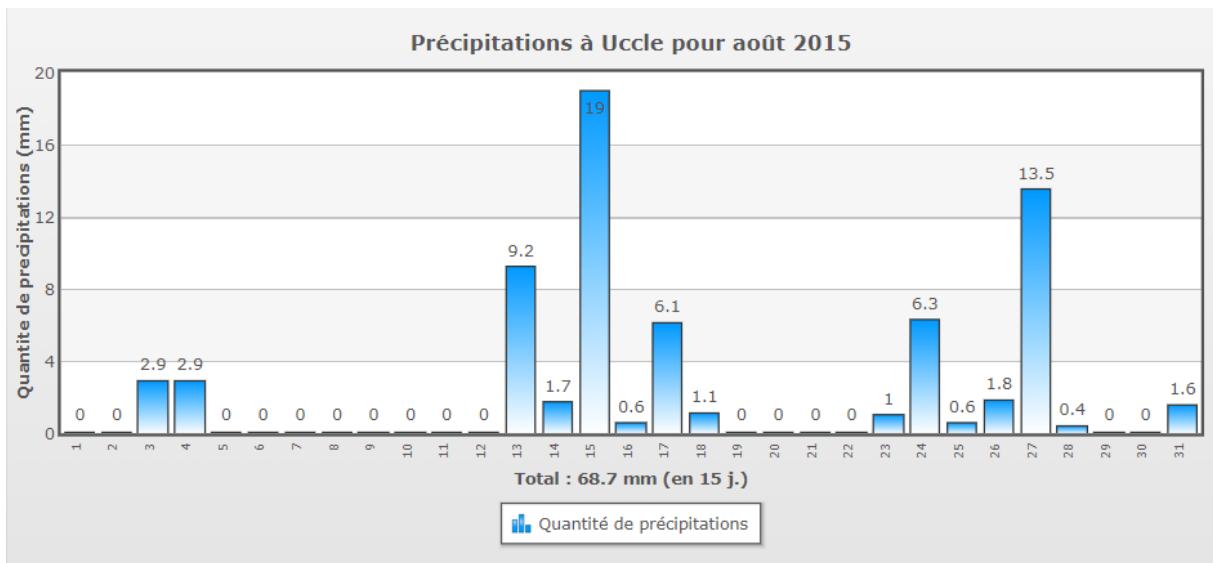
Annexe 18



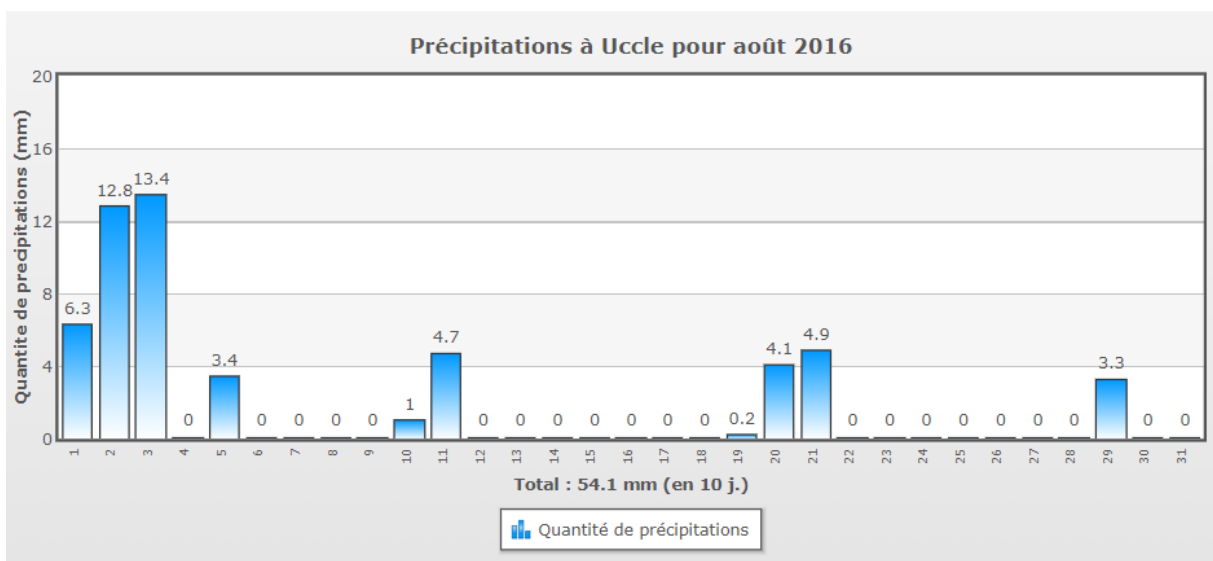
Annexe 19



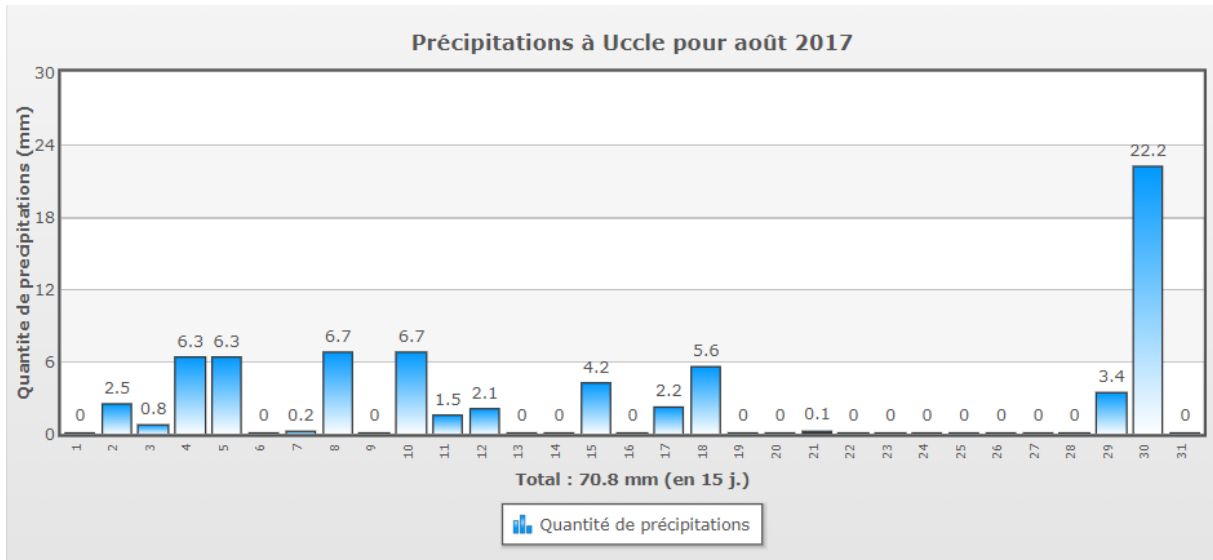
Annexe 20



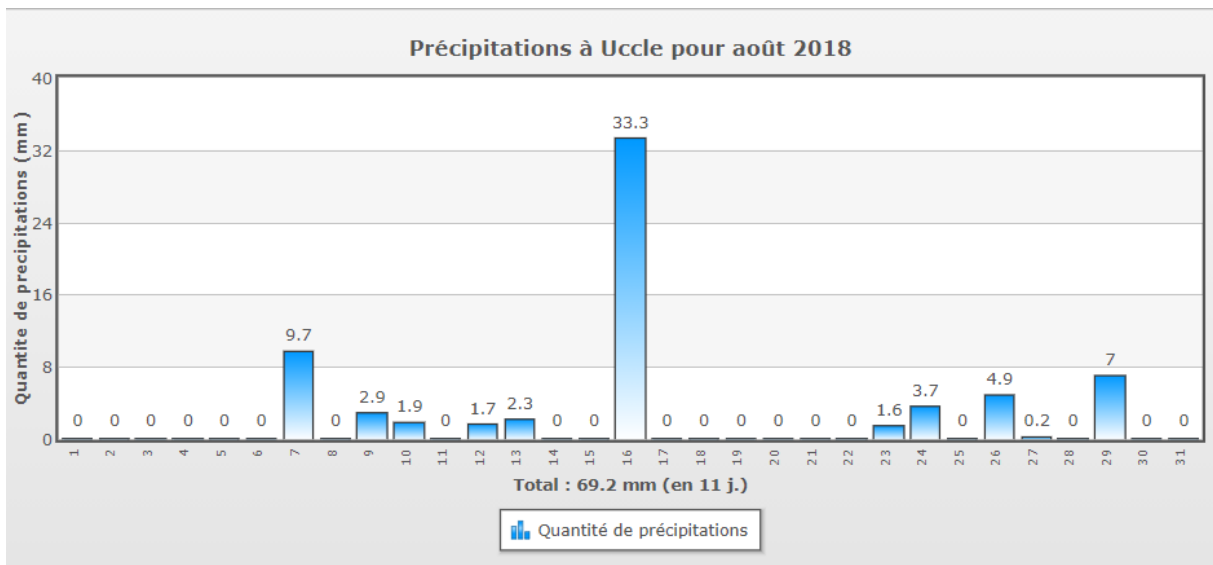
Annexe 21



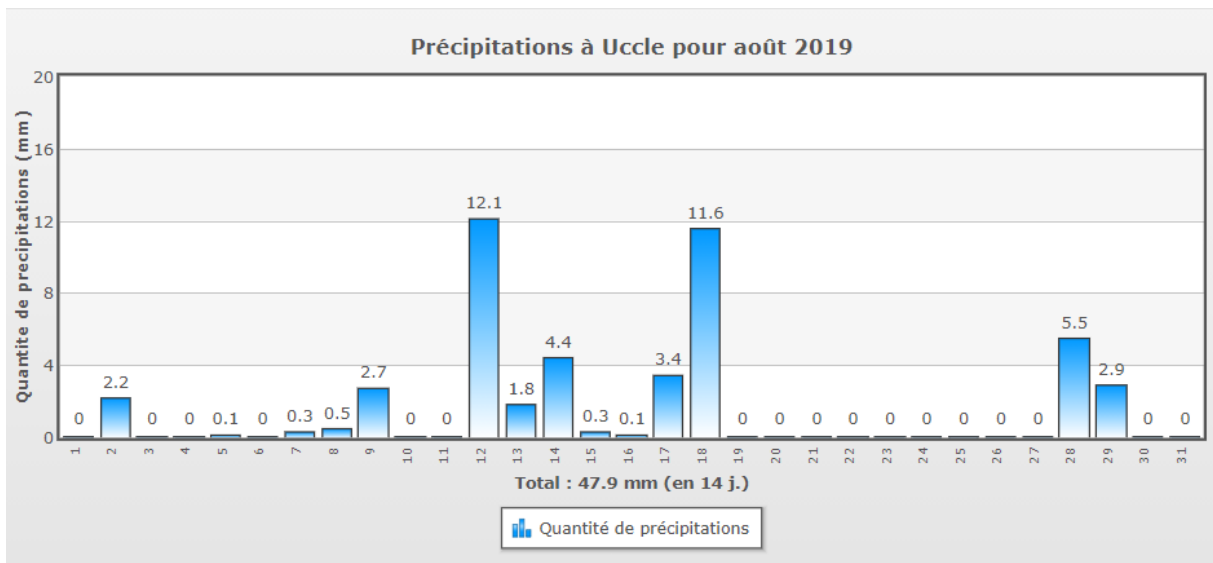
Annexe 22



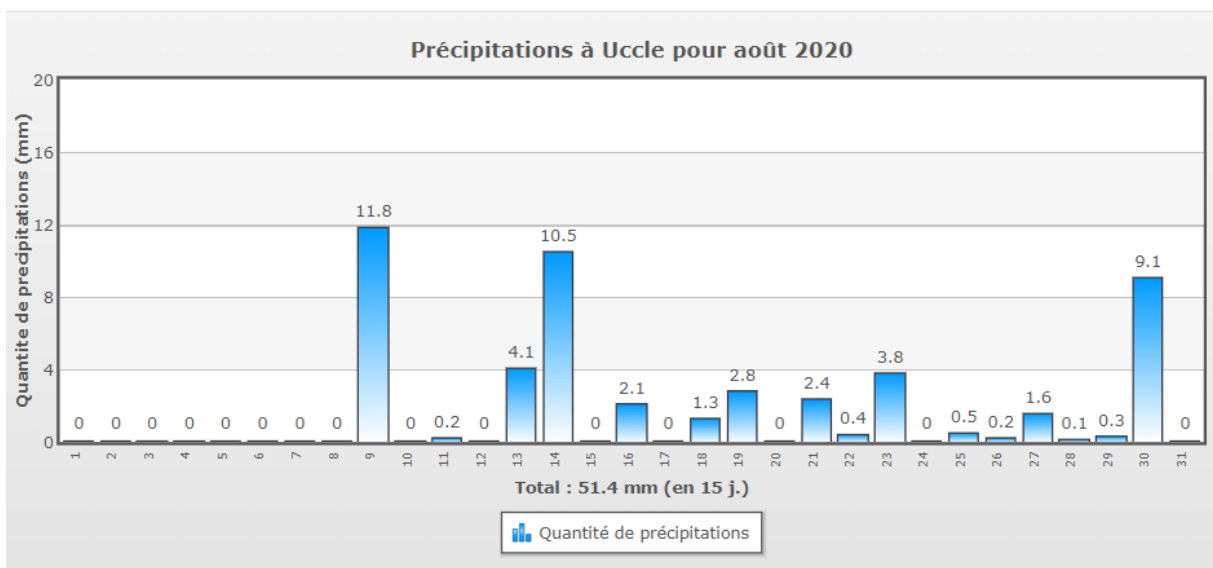
Annexe 23



Annexe 24

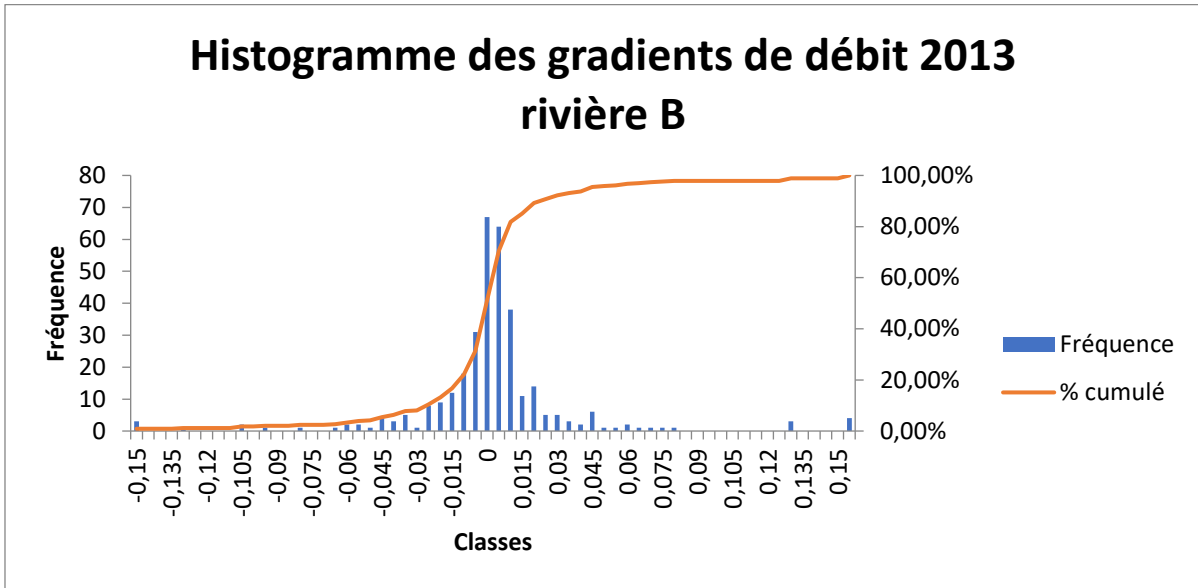


Annexe 25



3. Histogrammes des gradients de débit

Annexe 26



Annexe 27

