



Faculté des Sciences

Département des Sciences et Gestion de
l'Environnement

*Building Energy Monitoring & Simulation
(BEMS)*

Faculté des Sciences,
de la Technologie et de la
Communication
*Research Unit in Engineering Science
(RUES)*

Logo de l'institution d'accueil



(Guichet Energie Arlon)

**Exploration de la solution d'une installation hydroélectrique installée chez un particulier, le long du
Ton, en vue d'une autonomie énergétique**

Brieuc ROBERT

Mémoire présenté en vue de l'obtention des diplômes de

Master en Sciences et Gestion de l'Environnement – finalité Energies Renouvelables (ULg)

Master en Développement Durable – finalité Énergie-Environnement (uni.lu)

Promoteur : Jean-Marie HAUGLUSTAINE

Année académique 2016-2017

Co-Promoteur : Stefan MAAS

Comité de lecture: Fabien CLAUDE, Valentin ANDRIANNE et Pierre DEWALLEF

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux différentes personnes qui ont contribué à la bonne rédaction de ce travail par leurs nombreuses interventions de près ou de loin :

- **Monsieur Valentin Andrianne**, mon maître de stage. Tout au long de la réalisation de ce travail de fin d'études, il a pris le temps de répondre à mes différentes interrogations et me donner toutes les informations nécessaires sur le sujet traité. De plus, ses conseils judicieux et ses relectures ont largement contribué à l'élaboration du mémoire.
- **Monsieur Jean-Marie Hauglustaine**, mon promoteur de mémoire. Son soutien et ses remarques m'ont aidé à progresser dans la réalisation de ce travail.
- **Monsieur Marc Goedert**, le propriétaire du lieu d'étude, pour sa disponibilité, sa confiance, son implication et les informations apportées.
- **Madame Nathalie Monfort**, de m'avoir donné la chance de travailler sur ce sujet, de l'avoir relu et d'avoir émis des remarques constructives dans l'élaboration de ce mémoire.
- **Monsieur Vincent Debbaut**, docteur au laboratoire des ressources hydriques du Campus d'Arlon pour son aide apportée et son expérience du terrain. Cela m'a été grandement été utile pour la réalisation des mesures de débit.
- **Madame Johanna D'Hernoncourt**, facilitatrice hydroélectricité, pour ses conseils avisés, ses nombreuses remarques et les informations apportées.
- **Benoit Cozannet et Monsieur Denis Rutten**, employés au bureau d'étude Merytherm, pour les informations au sujet de la turbine Lynx.
- **Monsieur Michel Trigalet**, chef de service aux Archives de l'état d'Arlon, et son équipe pour leur aide dans la recherche de documents s'intéressant au lieu d'étude.
- **Monsieur Didier Depienne**, chef des travaux de la commune de Saint-Léger, pour les conseils apportés et les précisions concernant le cours d'eau étudié.
- Les personnes de mon entourage qui m'ont soutenu, encouragé durant la rédaction de mon mémoire. Ils m'ont également guidé par leurs conseils lors de la relecture de ce travail.

Table des matières

<i>Table des figures</i>	3
<i>Table des tableaux</i>	5
<i>Table des équations</i>	5
<i>Introduction</i>	6
1 Généralités	8
1.1 Définition.....	8
1.2 Historique de l'hydroélectricité.....	8
1.3 Production hydroélectrique	9
1.3.1 Niveau mondial	9
1.3.2 Niveau de la Région wallonne.....	10
1.4 Ouvrages hydrauliques.....	12
1.5 Impacts environnementaux	14
1.6 Technologies appliquées	15
1.6.1 Roues hydrauliques.....	16
1.6.2 Principaux types de turbines.....	18
1.6.2.1 Turbines à action	21
1.6.2.2 Turbines à réaction	22
1.6.3 Technologies modernes	24
1.7 Restor Hydro	26
2 Projet hydraulique	27
2.1 Objectif.....	27
2.2 Partie théorique	27
2.2.1 Coopérative « Gaume Energies » et guichet énergie Wallonie	27
2.2.2 Législation	28
2.2.2.1 Droit applicable aux cours d'eau.....	29
2.2.2.2 Réglementations concernant l'usage des cours d'eau.....	29
2.2.2.3 Travaux ordinaires et extraordinaires	30
2.2.2.4 Règles de l'exploitation et d'urbanisme.....	31
2.2.3 Mécanisme des certificats verts	32
2.2.4 Description du site d'étude.....	33
2.2.4.1 Localisation et historique	33
2.2.4.2 Rivière	34
2.2.4.3 Droit d'eau	37
2.2.4.4 Environnement.....	39
2.3 Partie pratique	41
2.3.1 Débit	41
2.3.1.1 Jaugeage par dilution de traceur.....	42
2.3.1.2 Exploration du champ de vitesse	44
2.3.1.3 Discussions	47
2.3.2 Relevés topographiques	48
2.3.2.1 Méthodologie sur le terrain	48
2.3.2.2 Méthodologie au bureau	49
2.3.2.3 Résultats et discussions.....	49

2.3.3	Consommation électrique de l'habitation	56
2.3.4	Technologies et aménagements	57
2.3.4.1	Choix de la technologie	57
2.3.4.2	Aménagements envisagés.....	58
2.3.4.3	Discussions	60
2.3.5	Estimation du potentiel énergétique	64
2.3.5.1	Hypothèses.....	65
2.3.5.2	Résultats.....	66
2.3.5.3	Discussions	66
2.3.6	Estimation du temps de retour sur investissement.....	67
2.3.6.1	Capex du projet	67
2.3.6.2	Hypothèses.....	68
2.3.6.3	Résultats.....	69
2.3.6.4	Discussions	70
<i>Conclusions</i>	72	
<i>Bibliographie</i>	74	
<i>Annexes</i>	I	
A)	Restor hydro	I
B)	Site d'étude.....	II
C)	Mesures de débits	V
D)	Etapes dans le logiciel Surfer 6.....	VII
E)	Relevés topographiques	X
F)	Exemples de consommation typique d'appareils électroménagers.....	XVI
G)	Sites d'anciens moulins réhabilités en Province de Luxembourg	XIX
H)	Prix de la turbine Lynx	XX

Table des figures

Figure 1: Parc hydroélectrique wallon (APERe asbl, 2017)	10
Figure 2: Sites hydroélectriques en Wallonie (APERe asbl, 2017)	11
Figure 3: Aménagement de haute chute (Gouriérès, 2009)	12
Figure 4: Aménagement de moyenne chute (Gouriérès, 2009)	13
Figure 5: Aménagement de basse chute (Gouriérès, 2009)	13
Figure 6: Roue par-dessus (Gouriérès, 2009)	16
Figure 7: Roue de poitrine (Gouriérès, 2009)	16
Figure 8: Roue par-dessous (Gouriérès, 2009)	17
Figure 9: Roue « Poncelet » (Gouriérès, 2009)	17
Figure 10: Domaines d'applications des types de turbine (Vincent Boucton, 2009)	18
Figure 11: Variation du rendement des turbines en fonction de la vitesse spécifique (Gouriérès, 2009)	19
Figure 12: Rendements de divers types de turbines à charge partielle (Gouriérès, 2009)	20
Figure 13: Turbine « Pelton » à axe horizontal à deux injecteurs (Gouriérès, 2009)	21
Figure 14: Coupes médiennes d'une Turbine crossflow à simple et à double injecteurs (Gouriérès, 2009)	22
Figure 15: Coupes axiale et transversale d'une turbine Francis (Gouriérès, 2009)	23
Figure 16: Cercle de vannage (Gouriérès, 2009)	23
Figure 17: Vis hydrodynamique (Allard, 2015)	24
Figure 18: Puissance des différentes vis hydrauliques mises sur le marché (GESS-CZ. s.r.o., n.d.)	25
Figure 19 : Turbine VLH (Tixier, 2014)	26
Figure 20: Insigne de la coopérative "Gaume Energies" (Coopérative Gaume Energies, 2017)	27
Figure 21: Logo des Guichets Energie Wallonie (Province de Luxembourg, 2011)	28
Figure 22: Localisation de la commune de Saint Léger (Administration communale de Saint-Léger, n.d.-b)	33
Figure 23: Cadastre du village de Châtillon (lieu d'étude en jaune)	34
Figure 24: Carte des sources du "Ton" et du cours d'eau classé en 3ème catégorie (Localisation du site d'étude avec un point noir) ((SPW, n.d.-b))	35
Figure 25: Bassin Ton amont (Zone d'étude localisée avec un point rouge) (Debbaut, 2014)	36
Figure 26: Bocard hydraulique (Vialas, 2017)	37
Figure 27: Plan du Fourneau Dahérée de 1812 modifié (bocards hydrauliques en jaune)	38
Figure 28: Site Natura 2000 en mauve et bleu (localisation de l'habitation en rouge) (Natura 2000, n.d.)	39
Figure 29: Vue aérienne de l'environnement autour du site (localisé par un carré rouge) (carte provenant du Géoportail-WalOnMap) (SPW, n.d.-b)	40
Figure 30: Carte localisant notre zone d'étude (point jaune) et mettant en évidence (en trait rouge) les deux cours d'eau alimentant le site (carte du géoportail de Wallonie-WalOnMap) (SPW, n.d.-b)	41
Figure 31: Cours d'eau avant le point de mesure	43
Figure 32: Localisation de l'endroit de mesure en pointillés rouges	45
Figure 33: Exploration du champs de vitesse technique (modifiée) (Eaufrance, n.d.)	45
Figure 34: Profil de vitesse de la section du cours d'eau étudiée	47
Figure 35: Lieu de la mise en station	48
Figure 36: Profil en long en amont de la chute	50
Figure 37: Profils en travers de la chute	51
Figure 38: Prises de vue des photos	52
Figure 39: Embouchure du bief et du ruisseau du fourneau	52
Figure 40: Aval de l'embouchure (2) et amont de la chute (3)	53
Figure 41: Amont de la chute	53
Figure 42: Chute	54
Figure 43: Profil en long en aval de la chute	55

<i>Figure 44: Vannage (Charrier, n.d.)</i>	58
<i>Figure 45: Ponton en bois amenant l'eau aux turbines (PowerSpout, 2017)</i>	59
<i>Figure 46: Turbine Lynx (Turbiwatt, 2009b)</i>	61
<i>Figure 47: Placement de la turbine Lynx (Turbiwatt, 2009a)</i>	61
<i>Figure 48: Aval de la chute et plan à titre indicatif de la structure de génie civil</i>	62
<i>Figure 49: Coupe transversale du ponton afin de visualiser le principe (schéma de principe)</i>	63
<i>Figure 50: Capex du projet hydraulique</i>	67
<i>Figure 51: Photo aérienne montrant la propriété</i>	II
<i>Figure 52: Plan cadastral d'une partie de la propriété et localisation de l'ensemble de la propriété en jaune</i>	III
<i>Figure 53: Plan cadastral datant de 1890 (Localisation du fourneau Dahérée dans le rond rouge)</i>	IV
<i>Figure 54: Fenêtre servant à créer le fichier grille</i>	VII
<i>Figure 55: Fenêtre des paramètres par défaut pour déterminer le débit</i>	VIII
<i>Figure 56: Grille mettant en avant l'ensemble des points de notre fichier grille</i>	VIII
<i>Figure 57: Profil de vitesse de la section du cours d'eau étudiée</i>	IX
<i>Figure 58: Schéma du niveau (Guichets de l'énergie (Région wallonne), 2013)</i>	X
<i>Figure 59: Représentation du réglage des demi-bulles (Guichets de l'énergie (Région wallonne), 2013)</i>	XI
<i>Figure 60: Lecture d'angle (Guichets de l'énergie (Région wallonne), 2013)</i>	XI
<i>Figure 61: Schéma de la lecture sur la mire parlante (Guichets de l'énergie (Région wallonne), 2013)</i>	XI
<i>Figure 62: Partie droite du niveau (Guichets de l'énergie (Région wallonne), 2013)</i>	XII
<i>Figure 63: Partie gauche du niveau</i>	XIII
<i>Figure 64: Consommations annuelles de différents appareils ménagers (1) (Centre Urbain asbl, n.d.)</i>	XVI
<i>Figure 65: Consommations annuelles de différents appareils ménagers (2) (Centre Urbain asbl, n.d.)</i>	XVII
<i>Figure 66: Consommation annuelle d'appareils électriques en mode « veille » (Centre Urbain asbl, n.d.)</i>	XVIII

Table des tableaux

Tableau 1: Classification des types de barrage (Enguerrand, D., Romain, L., Emilien, 2012)	12
Tableau 2: Types de turbine en fonction de leur vitesse spécifique (Gouriérès, 2009)	20
Tableau 3: Légende de la figure 12 (Gouriérès, 2009)	20
Tableau 4: K_{eco} applicable (Haveaux, 2014)	32
Tableau 5: Informations et résultat de notre fichier grille	46
Tableau 6: Consommations du propriétaire de l'habitation	56
Tableau 7: Caractéristiques de technologies envisagées (Hydric, 2015b), (Hydric, 2015a), (Turbiwatt, 2015) & (Turbiwatt, 2017)	60
Tableau 8: Résultats d'essais lors que la turbine lynx est connecté au réseau	65
Tableau 9: Puissances électriques obtenues selon les 3 cas	66
Tableau 10: Données de base pour l'estimation du temps de retour financier	68
Tableau 11: Recettes du projet après 25 ans	69
Tableau 12: Temps de retour du projet en fonction de 3 cas considérés	70
Tableau 13: Durée de vie de la turbine en fonction de la durée de fonctionnement annuelle	70
Tableau 15: Mesures par jaugeage par dilution de traceur	V
Tableau 16: Mesures brutes du champ de vitesse	VI
Tableau 17: Informations et résultats de notre fichier grille	VIII
Tableau 18: Légende de la partie droite du niveau	XII
Tableau 19: Légende de la partie gauche du niveau	XIII
Tableau 20: Mesures de niveau du profil du cours d'eau en aval de la chute (31/03/2017)	XIV
Tableau 21: Mesures de niveau du profil du cours d'eau en amont de la chute (17/05/2017)	XV
Tableau 22: Anciens moulins réhabilités en Province de Luxembourg	XIX

Table des équations

Équation 1: Vitesse spécifique (Gouriérès, 2009)	19
Équation 2: Calcul de l'air sous la courbe	44
Équation 3: Distance entre le niveau et la mire	49
Équation 4: Puissances hydrauliques	64
Équation 5: Puissance électrique	64
Équation 6: Energie électrique	65

Introduction

Dans un monde où les ressources énergétiques vont en se raréfiant et où le changement climatique est une fatalité, il convient de trouver des solutions pour changer nos habitudes de production au départ d'énergies fossiles.

A ce propos, différentes actions ont déjà été mises en place à travers le monde pour lutter contre le changement climatique. Par exemple, le protocole de Kyoto ou la conférence de Rio. En outre, l'Europe a mis depuis une dizaine d'années une série d'objectifs dans le but d'agir dans ce sens. Parmi eux, l'objectif 2020 propose notamment de produire 20 % de notre énergie à partir des sources renouvelables.

Ce travail s'intéresse notamment à une de ces filières. Il s'agit de l'énergie hydro-électrique. D'ailleurs, le gouvernement wallon s'est engagé à produire à l'horizon 2020, 8000 GWh d'électricité verte sur base de sources renouvelables dont 400 GWh grâce à la filière hydroélectrique. (Facilitateur hydroélectrique (APERe Asbl), 2014) Fin 2016, 326 GWh étaient produits par cette source (APERe asbl, 2017).

Dans le cas présent, nous nous intéresserons plus particulièrement à la pico-hydroélectricité. Actuellement, aucune définition cadrée décrivant la plage de puissance fait référence à ce terme. Les pico-turbines sont des technologies de petites puissances. Elles ont notamment pour but d'équiper les anciens sites hydroénergétiques. Ces anciens lieux ont un potentiel non négligeable. En effet, en Wallonie, il existe près de 2500 sites d'anciens moulins (Facilitateur hydroélectrique (APERe Asbl), 2014). Cela représente une puissance de près de 20 MW selon les services publics de Wallonie. (SPW, n.d.-a) Notre projet s'intéresse à l'un de ces sites. Il est localisé le long du Ton, cours d'eau non navigable. Nous allons étudier la possibilité d'aménager une installation hydroélectrique chez un particulier, le long du Ton, en vue d'une autonomie énergétique.

Pour ce faire, différents points vont être abordés.

Dans un premier temps, le mémoire comprend un état des lieux sur l'hydroélectricité. Une définition de cette dernière sera d'abord donnée. J'ajouterai un historique ainsi qu'une vue sur la production mondiale et wallonne actuelle. De plus, quelques impacts environnementaux sont cités ainsi que les différents types d'ouvrages pouvant être rencontrés au niveau mondial. Cette partie est complétée par les différentes techniques pouvant être trouvées sur le marché actuellement. Un mot sur le projet européen Restor Hydro clôture cette partie.

La deuxième partie de ce travail, la plus importante, est subdivisée en deux.

Le premier chapitre, bien que théorique, permettra une bonne compréhension du mémoire par la suite. Il comprend notamment une note sur la législation applicable à la réhabilitation d'anciens sites et un mot sur le mécanisme des certificats verts. Je terminerai par une description du site d'étude et, plus particulièrement, du cours d'eau sur lequel le projet d'une nouvelle installation est étudiée. De plus, j'en profiterai pour dire un mot sur le droit d'eau de la propriété ainsi que sur les problèmes environnementaux pouvant être rencontrés par ce projet.

Le second chapitre, plus pratique, reprend les différentes mesures de débits qui ont été fait sur le site. Ces mesures sont suivies de différents profils donnés à titre indicatif : 2 profils en long et 2 profils en travers au niveau de la chute. Ceux-ci permettront de mieux comprendre la structure du cours d'eau et vont nous aider dans le choix de la technologie. Ces profils sont illustrés par des photos. Afin d'embrayer sur le choix de la technologie la plus adaptée au site, il convenait aussi d'aborder les consommations de ce dernier. Pour terminer, une estimation du potentiel énergétique ainsi qu'une évaluation du temps de retour et des recettes du projet ont été abordées. Chaque partie de ce volet contient une partie théorique/méthode et conclut par les résultats et une discussion.

1 Généralités

Cette partie a pour but d'expliquer brièvement quelques notions essentielles sur l'hydroélectricité. En effet, nous expliquerons les caractéristiques d'un site hydraulique, les divers types d'hydroélectricité qui peuvent être rencontrés sur la planète et les impacts environnementaux pouvant être causés. Dès lors, nous pourrons parler des différentes technologies qui existent et les caractéristiques de celles-ci. Un mot sur l'historique de l'hydroélectricité et sa production actuelle fait également partie de ce chapitre. Il convient de donner aussi une définition claire et précise de cette méthode de production d'électricité.

1.1 Définition

L'hydroélectricité peut être définie comme une technologie qui exploite l'énergie du flux d'eau. En fonction du site, notre technologie sera adaptée pour exploiter au mieux l'énergie potentielle et cinétique du site. En général, un site dit de haute voire de moyenne chute a beaucoup d'énergie potentielle à l'inverse d'une centrale au fil de l'eau qui va tirer sa puissance principalement de l'énergie cinétique. L'énergie de l'eau va actionner une turbine, une énergie mécanique peut donc en sortir. Cette énergie actionne un alternateur qui va produire de l'énergie électrique. (Connaissance des énergies, 2013)

Tout comme les principales sources d'énergies renouvelables, cette source d'énergie possède des inconvénients notamment par son irrégularité dans le temps du fait que les précipitations sont différentes suivant les années et les régions. Hormis cela, l'eau peut, à l'inverse du vent et du soleil, être stockée. Ce stockage permet donc de moduler la production électrique et ainsi palier à la demande lors des moments de fortes demandes. C'est d'ailleurs un des rôles des barrages. ("L'énergie hydraulique," 2008)

1.2 Historique de l'hydroélectricité

En Mésopotamie, 3000 ans avant JC, des travaux avaient été effectués afin d'utiliser la force de l'eau. A cette époque, le nom de « tympans » était donné à ce type de machine utilisant la force de l'eau. Ce n'est qu'au deuxième siècle avant JC que les premières roues hydrauliques voient le jour. (Gourières, 2009) Nous exploitons la force de l'eau pour moudre le blé mais aussi pour d'autres applications notamment dans le domaine de la scierie pour couper le bois, dans le domaine de l'agriculture pour l'irrigation (Département du développement durable, 2017) mais également dans le milieu de la sidérurgie pour casser les pierres alimentant les bas-fourneaux (DELHEZ, 2005).

Le développement de la machine à vapeur va conduire petit à petit au déclin des moulins à eau.

En 1827, le mot turbine fait son apparition. Un jeune français du nom de Benoît Fourneyron actionna la toute première turbine. A ce moment, la technologie en question avait une puissance de 50 CV¹ mais un rendement qui avoisinait les 20 %. Cette turbine était de type centrifuge. Les turbines ont continué à évoluer et se diversifier en turbine dite centripète, conique ou encore axiale.

¹ CV : Un cheval vapeur. Un CV correspond à 75 kg m/s, ce qui équivaut à 736 W. (Gourières, 2009)

En 1838, la turbine « Francis » voit le jour. Cette dernière, en raison de sa vitesse de rotation ainsi que de son couple moteur plus adapté pour l’entraînement des meules de moulin, va vite prendre la place de la roue hydraulique.

Les turbines « Pelton » et « Kaplan » suivirent quelques décennies plus tard. Ces dernières sont les modèles les plus utilisés sur le marché de l’hydraulique actuel. (Gouriérès, 2009)

Une explication sur les technologies citées peut être consultée au niveau du paragraphe 1.6.

Notons que ce n'est qu'en 1880, que par l'intermédiaire d'une turbine, une dynamo va être entraînée afin de produire de l'électricité. (U.S. Department Energy, n.d.)

1.3 Production hydroélectrique

1.3.1 Niveau mondial

Fin 2014, 19.2 % de notre énergie était produite à base de sources renouvelables dont un certain pourcentage (3.9 %) était produit à partir de l’hydroélectricité. Notons que la majeure partie de notre énergie provenait et provient de sources fossiles, près de 80 %. La part nucléaire ne représente que 2.5 %.

Désormais, si nous nous concentrons plus spécifiquement sur le vecteur énergétique électrique, nous pouvons dire que les énergies renouvelables participent à la production de 23.7 % de l'électricité mondiale fin 2015. Dans ce pourcentage, l'hydraulique est la technologie qui a le plus gros poids, plus de 70 %. Cela représente une puissance totale de 1064 GW. Au niveau mondial, la Chine est le leader mondial au niveau de la puissance installée. Elle est suivie de loin par le Brésil, les Etats-Unis, le Canada, la Russie et l'Inde.

Fin 2015, les Chinois avaient installé près de 300 GW de puissance. Rien que pour l'année 2015, ils ont installé près de 28 GW. Notons que cette puissance exclut les installations de pompage-turbinage.

Le secteur du grand hydraulique semble être un marché qui n'évolue plus beaucoup. En effet, par rapport à l'année 2014, l'année 2015 a augmenté de 1 % sa capacité de production. Il faut dire que cette année-là, les sécheresses incessantes ont entravé la production électrique.

Le rapport sur le statut mondial des énergies renouvelables de 2016 dit aussi que le risque climatique va favoriser une adaptation du secteur hydraulique. Le repowering et l'agrandissement d'installations existantes travaillent en vue d'assurer une amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que la résilience et la flexibilité des technologies mises en place. L'attention lors de cette année a également été portée sur la mise œuvre de projets hydroélectriques couplés avec d'autres technologies telles que le solaire et l'éolien.

(REN 21, 2015)

1.3.2 Niveau de la Région wallonne

A l'heure actuelle, la Wallonie a une puissance installée qui est de 107 MW. Nous voyons que, depuis 10 ans, le nombre de sites augmente. Cependant, nous constatons que la puissance, elle, n'augmente pas. Nous pouvons expliquer cela par le repowering des centrales. De plus, la majeure partie des sites voyant le jour sont de petite puissance et de ce fait n'ont pas un impact significatif. En effet, en 2015, un site de grande puissance a renouvelé ses turbines et 8 nouveaux projets de petite puissance ont été équipés. En 2016, il y a également eu du changement. La Wallonie a vu l'apparition de 16 nouveaux sites et du repowering a été effectué sur d'ancien site (D'HERNONCOURT, 2017).



Figure 1: Parc hydroélectrique wallon (APERe asbl, 2017)

En Wallonie, la majorité de nos centrales sont implantées au fil de l'eau. APERe estime que cette puissance représente 82 %. Les 18 % de puissance restants sont des barrages. Ces derniers sont fort localisés. A titre d'exemple, nous pouvons citer le barrage de l'Eau d'Heure. Pour l'histoire, ces structures ont vu le jour dans le but de fournir une source d'eau potable mais également afin de fournir une protection contre les crues. Ils ont aussi le rôle de fournir une retenue d'eau servant à alimenter les centrales hydroélectriques.

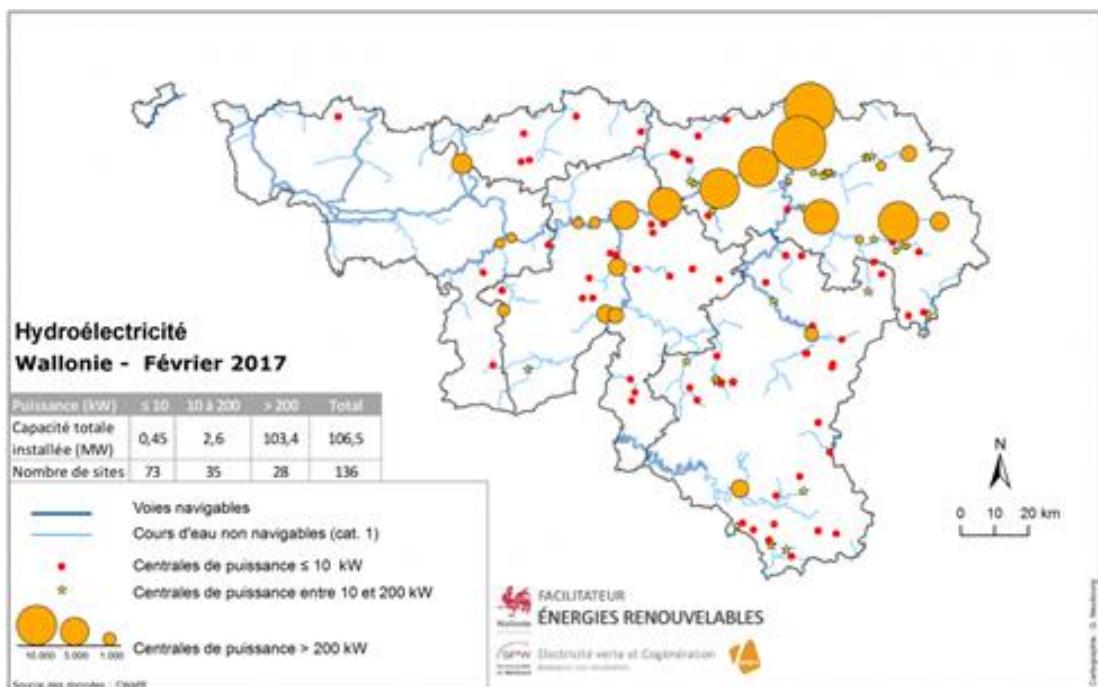


Figure 2: Sites hydroélectriques en Wallonie (APERe asbl, 2017)

En terme de production, nous nous situons dans une fourchette de 200 à 400 GWh par an. Ce qui représente la consommation de 50 000 à 100 000 ménages. Cette fourchette s'explique par le fait que le régime de pluie varie d'une année à l'autre. Le taux de charge annuel des installations est de 35 à 60 %. En 2016, la production était de plus de 324 GW soit la consommation de 92.000 logements.

(APERe asbl, 2017)

Avant d'aborder le prochain point, il convient de mettre en avant le potentiel wallon.

Une vingtaine de site ont été identifiés au niveau des voies hydrauliques par la DGO₂ (Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques). Le potentiel est situé sur plusieurs cours d'eau : sur la Meuse à 52 GWh, sur la Sambre à 9 GWh et sur l'Ourthe à 10 GWh. Cela représente donc plus de 70GWh. Ces endroits sont notamment repris dans le programme SOFICO. (Groupe CDH, 2015) Il a pour but de développer le potentiel énergétique notamment au niveau des voies fluviales ("Sofico," 2016).

Il existe aussi d'autres projets plus locaux. Notamment au niveau du Lac des Doyards (Vielsalm) et sur la Vesdre. La puissance installée avoisinerait les 300 kW et pourrait produire environ 1250 MWh annuellement.

Concernant le potentiel des petits sites, il est présent sur les voies non navigables. Ces sites sont par exemple des anciens sites de moulins où la puissance hydraulique potentielle est inférieure à 10 kW. Selon le Ministre Furlan, ces sites pourraient contribuer pour 0,05 GWh annuellement. (Groupe CDH, 2015) Néanmoins, il rappelle que ce sont des sites qui sont coûteux à équiper.

Par contre, une autre source annonce un potentiel inférieur, environ 0,02 GWh (SPW, n.d.-a).

1.4 Ouvrages hydrauliques

La plupart des ouvrages hydrauliques importants construits à travers le monde présentent un barrage. Ces structures sont de types variés et peuvent être classées en fonction de leur hauteur de chute.

Tableau 1: Classification des types de barrage (Enguerrand, D., Romain, L., Emilien, 2012)

Types de chute	Hauteurs de chute
Haute chute	Plus de 200 mètres
Moyenne chute	50 à 200 mètres
Basse chute	Inférieure à 50 mètres

D'une manière générale, nous pouvons dire que *l'aménagement de hautes chutes* possède une galerie d'amenée ainsi qu'une cheminée d'équilibre et une conduite forcée. La cheminée d'équilibre est une partie de l'ouvrage hydraulique qui va se trouver en amont de la conduite forcée. (Gouriérès, 2009) C'est un dispositif de sécurité présent pour minimiser les différences de pression en cas de démarrage rapide ou fermeture instantanée de la production hydroélectrique (Elie, 2014).

Ce sont surtout des barrages qui se trouvent dans les régions de haute montagne qui possèdent ce genre d'ouvrage (Enguerrand, D., Romain, L., Emilien, 2012).

Ces barrages vont servir à accumuler l'eau dans un grand réservoir. Les différents éléments cités peuvent être visualisés sur la Figure 3.

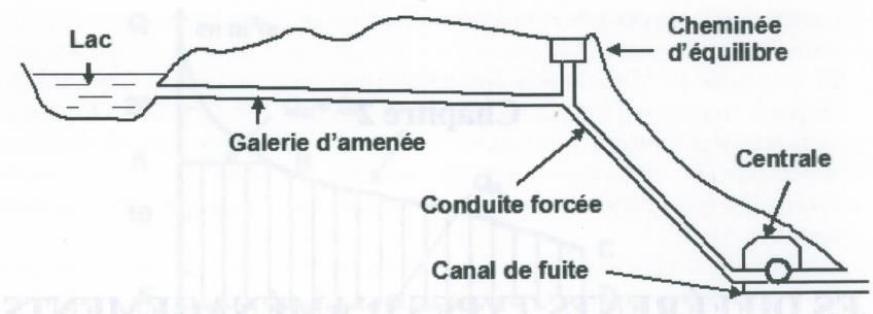


Figure 3: Aménagement de haute chute (Gouriérès, 2009)

Concernant les *aménagements de moyenne chute* (Figure 4, p13), l'ensemble des éléments précédents ne sont pas forcément présents (Gouriérès, 2009). Ce type de barrage est visible dans des zones de moyenne montagne. L'infrastructure va utiliser l'eau accumulée sur de courtes périodes. Ces centrales hydroélectriques servent à réguler la production journalière voire hebdomadaire. (Enguerrand, D., Romain, L., Emilien, 2012)

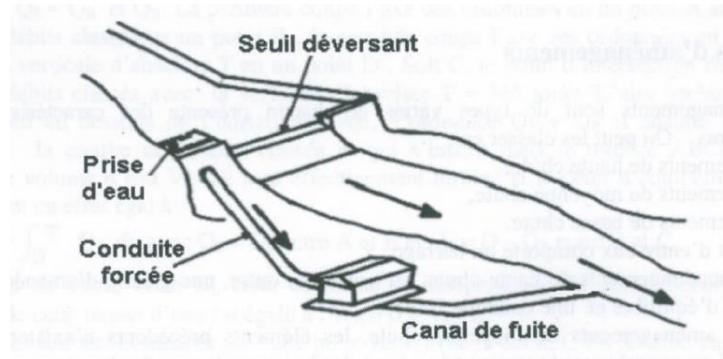


Figure 4: Aménagement de moyenne chute (Gouriérès, 2009)

Dans le cas des *aménagements de basse chute* (Figure 5), la centrale est généralement incluse au barrage et les dispositifs présents pour les hautes chutes disparaissent (Gouriérès, 2009). Dans ce dernier cas, le débit du cours d'eau est important et la production électrique se fait de manière continue. En général, ce type de barrage peut aussi être appelé « barrage au fil de l'eau ». (Enguerrand, D., Romain, L., Emilien, 2012)

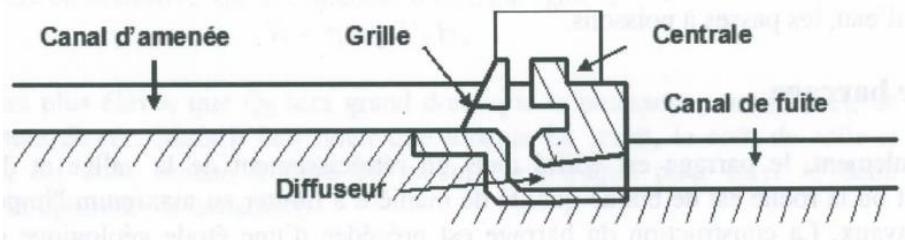


Figure 5: Aménagement de basse chute (Gouriérès, 2009)

Notons qu'il est possible que l'aménagement soit souterrain.

Au niveau de ces ouvrages, il est important d'être conscient des diverses contraintes auxquelles ils sont soumis. Leur composition (béton, terre,) et leur structure (poids, voûtes,) vont donc différer afin de s'adapter aux obstacles rencontrés : pression de l'eau qui augmente de manière proportionnelle par rapport à la profondeur, forces de réaction du sol, dilatation des matériaux due aux changements de température, etc. (Gouriérès, 2009)

Afin de choisir la technologie adaptée, il convient également de s'intéresser au débit du cours d'eau en plus de la hauteur de chute. Celui-ci est un paramètre important pour faire ce choix. Les différentes technologies présentes sur le marché seront décrites de manière succincte au paragraphe 1.6.

Au niveau de ces aménagements hydrauliques, nous pouvons dire qu'ils occasionnent des impacts sur l'environnement. D'ailleurs, des dispositifs sont mis en place au niveau de ces structures afin d'essayer de pallier à ces problèmes comme des passes à poissons, des évacuateurs de crues, etc. L'impact de ces infrastructures sur l'environnement est expliqué brièvement au paragraphe suivant.

A titre d'information, nous pouvons dire qu'il existe également des centrales dites de « pompage-turbinage ». Son rôle premier est donc de gérer les flux d'électricité et non de produire de l'électricité. D'ailleurs, nous possédons ce type de centrale en Wallonie. Elle est localisée à COO.

Ce type de centrale est constitué de deux bassins (supérieur et inférieur) séparés par un dénivelé important. Lorsque le réseau risque d'être surchargé en électricité en raison notamment d'une période creuse, l'eau va être pompée du bassin inférieur vers le bassin supérieur. A l'inverse, lorsque la production ne satisfait pas la demande, ce type d'installation va être mis en activité pour produire de l'électricité, par exemple en période de pointe. (Agence allemande de l'énergie, 2015) & (Viollet, 2014)

Il existe aussi des centrales pour l'exploitation de l'énergie des mers. Ce type de centrale utilise l'énergie cinétique des marées, des courants ou des vagues pour réaliser la production d'électricité. Il s'agit des usines de marémotrice par exemple. (Agence allemande de l'énergie, 2015)

1.5 Impacts environnementaux

Comme nous le savons, la technologie de l'hydroélectricité est une énergie propre. En effet, lors de son exploitation, elle n'émet pas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, son exploitation et ses aménagements entraînent des effets sur l'environnement. Elle modifie le paysage et agit directement sur le cours d'eau. D'une manière générale, nous pouvons dire que les impacts vont varier en fonction de la taille de l'installation. En effet, ils auront tendance à être plus importants lors de la construction de retenues d'eau artificielles que lors de l'exploitation de chutes d'eau naturelles. (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEM), 2014)

La construction des barrages va créer une superficie de zone ennoyée qui va différer en fonction du type d'installation mais également en fonction de la topographie du site. En effet, les centrales construites dans une zone où le relief est relativement plat vont avoir tendance à ennoyer beaucoup plus de terre que les endroits escarpés comme les canyons. (Union of Concerned Scientists, n.d.)

De ce fait, les conséquences sur l'environnement sont accrues. Nous pouvons citer :

- Le déplacement des populations locales ;
- Ennoiement de terres agricoles ;
- Déséquilibre de l'écosystème aquatique ;
- Mortalité de certaines espèces lors du passage dans les turbines ;
- Etc.

(Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEM), 2014)

Il convient de dire que les barrages ne sont pas tous construits à des fins de production électrique. En effet, ils servent aussi pour l'irrigation des terres agricoles, des zones de loisirs mais également comme moyen de protection contre les crues. Il ne faut donc pas imputer l'ensemble des impacts des barrages à la filière hydroélectrique. (Union of Concerned Scientists, n.d.)

Pour conclure ce paragraphe, un petit mot sur l'analyse du cycle de vie des sites hydrauliques. Selon le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), l'hydraulique est la source de production d'énergie la moins impactante sur l'environnement. En effet, selon leur étude analysant l'ensemble des cycles de vie des différentes filières de production d'énergie électrique, l'hydraulique produirait environ 4g équivalent CO₂ en moyenne par kWh produit.

En comparaison, cette filière produit 250 fois moins de gramme de CO₂/équivalent que la filière charbon, 4 fois moins que le nucléaire et 3 fois moins que l'éolien. L'étude a été faite comme si un nouveau site était exploité. Si un site est réhabilité, l'impact se voit donc diminué. ("Le bilan carbone de l'énergie hydraulique," 2013)

Une autre source explique que la construction d'un barrage et le démantèlement ont les impacts les plus significatifs au niveau de la libération des gaz à effet de serre (GES). (Union of Concerned Scientists, n.d.)

Mais il semblerait que des recherches récentes ont également mis en avant l'impact du projet lors de son fonctionnement. Elles vont dépendre de la taille du réservoir. En fait, lorsqu'une zone est inondée, les végétaux vont commencer à se décomposer et vont libérer différents GES comme du méthane et le dioxyde de carbone. Notons que les quantités dégagées vont dépendre de la surface mais également du type de zone inondée (arides, tourbières, etc.). Les quantités varient de 0,01 à 0,06 livre mais cela peut augmenter à 0,5 livre (± 454 grammes). (Union of Concerned Scientists, n.d.)

1.6 Technologies appliquées

Il existe différentes technologies pour produire de l'électricité à partir de la force de l'eau : les turbines et les vis hydrauliques. Anciennement, l'utilisation de roues hydrauliques était plus fréquente. A ce jour, ces roues sont parfois remises en état pour assurer la production d'électricité.

Le marché de l'hydroélectricité évolue et s'adapte à la demande croissante d'énergie. En effet, nous pouvons dire que d'autres technologies ont vu le jour dernièrement pour exploiter l'énergie des cours d'eau comme l'effet vortex (utilisation du mouvement en tourbillon de l'eau) (Vortex Hydrokinetics LLC, 2016).

Dans ce paragraphe intitulé « technologies appliquées », seule une succincte description de différentes technologies pouvant exploiter l'énergie des cours d'eau sera développée. Néanmoins, les technologies décrites couvriront une large gamme de puissances pouvant être installées : du gros hydraulique au petit hydraulique.

D'ailleurs, les puissances installées varient de plusieurs milliers de kilowatts à quelques kilowatts voire même à quelques centaines de watts pour les plus petites.

Lorsque la puissance installée ne dépasse pas une certaine puissance, le terme employé pour désigner ces technologies est « pico ». Nous pouvons dire que la France l'utilise pour une puissance inférieure à 20 kW alors que la Suisse l'utilise lorsque la puissance est inférieure à 49 KW. (Ooreka, 2016)² & (Office fédéral de l'énergie, 2012) Il semblerait que des pays aient déterminé une puissance minimale pour caractériser ce type d'installation.

En 2015, le ministère fédéral de l'économie et de l'énergie expliquait qu'il n'existe pas encore de consensus international concernant la classification du petit hydraulique. (Agence allemande de l'énergie, 2015)

² Ooreka est un site qui permet de nous informer sur différents sujets. L'information qui y est contenue provient de divers experts dans leur domaine comme des ingénieurs en énergie.

Notons que c'est principalement ce type d'installation qui va nous intéresser étant donné que notre étude a pour but d'étudier la possibilité d'installer une petite infrastructure hydraulique chez un particulier.

1.6.1 Roues hydrauliques

Nous pouvons distinguer plusieurs grands types de roues hydrauliques. La distinction est faite principalement par admission de l'eau : la roue par-dessus, de poitrine et par-dessous.

Dans le cas d'une alimentation par le dessus (Figure 6), la roue ne doit pas tourner trop rapidement afin que l'eau ne s'échappe pas par les augets à cause de la force centrifuge. Nous considérons qu'en pratique seulement, la moitié de l'énergie cinétique de l'eau à la sortie de la goulotte est récupérée. Si cette roue est utilisée, il faut éviter tout choc à l'entrée de la roue. De plus, les augets présents doivent être légèrement recourbés par rapport à la direction du jet d'eau. En effet, le rendement va chuter lorsque la hauteur de chute est supérieure au diamètre de la roue. De plus, il faut que les augets ne se vident pas avant le point bas.

Notons qu'en pratique, ceux-ci ne sont pas complètement remplis, environ 60 %. (Gouriérès, 2009) C'est donc le poids de l'eau qui va fournir la puissance à la roue (Merytherm bureau d'étude, n.d.).

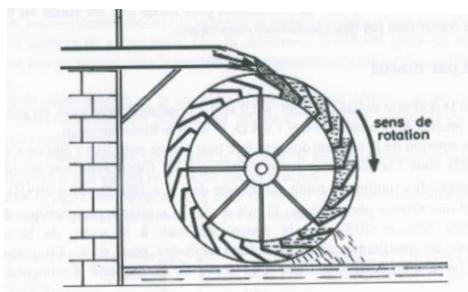


Figure 6: Roue par-dessus (Gouriérès, 2009)

Si la chute a une hauteur variant de 1,5 à 2,5 m, la construction d'une roue poitrine (Figure 7) peut être envisagée. L'eau va arriver à une hauteur proche du moyeu. Le rendement de ces roues est variable si l'eau arrive au-dessus ou en dessous de celui-ci. L'ensemble de l'infrastructure, que ce soit le béton servant à maintenir l'eau dans les augets ou la roue elle-même, doit être réalisé proprement pour minimiser les fuites d'eau. (Gouriérès, 2009) La rotation de la roue se fait dans le sens inverse de la roue par le dessus mais la puissance de la roue est également fournie par le poids de l'eau (Merytherm bureau d'étude, n.d.).

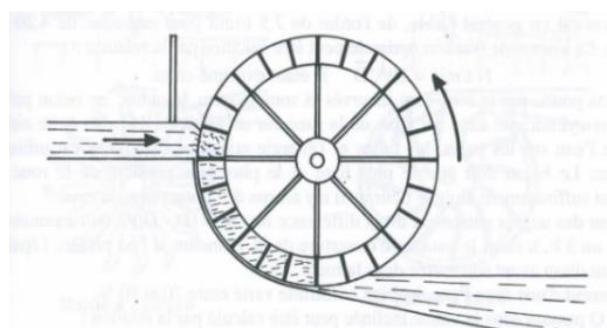


Figure 7: Roue de poitrine (Gouriérès, 2009)

La roue par-dessous (Figure 8) va quant à elle utiliser l'énergie cinétique de l'eau. L'eau va venir frapper les augets après avoir été accélérée par l'intermédiaire d'un plan incliné. Notons que ce type de roue a un rendement assez faible. Cela est dû aux nombreuses pertes d'énergie sur le plan incliné et du choc de l'eau sur les pales. Dans ce cas, la puissance est due à la pression de l'eau sur les pales mais également à la vitesse de l'eau. Ce type de roue a généralement besoin d'une légère pente et a recours à un débit important.

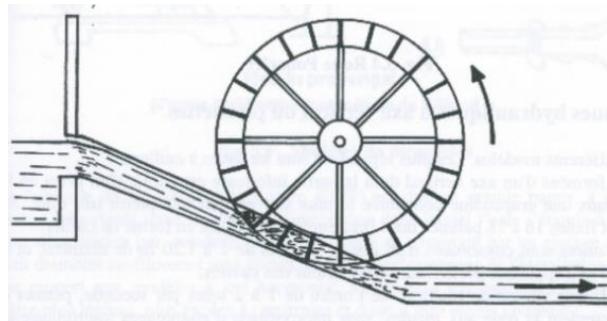


Figure 8: Roue par-dessous (Gouriérès, 2009)

Pour conclure, nous pouvons dire que ces roues hydrauliques ont des rendements assez faibles qui tournent vers les 30-40 % (Merytherm bureau d'étude, n.d.) & (Département du développement durable, 2017). Néanmoins, il semblerait que, dans des conditions optimales, ces rendements pourraient être supérieurs. En effet, Désiré Le Gouriérès annonce des rendements de 25 % à 70 %. (Gouriérès, 2009) & (European Small Hydropower Association (ESHA), 2014) Il existe également d'autres roues comme la roue Poncelet (Figure 9), Sagebien et Zuppinger. Ces types de roue sont une amélioration des roues précédemment citées.

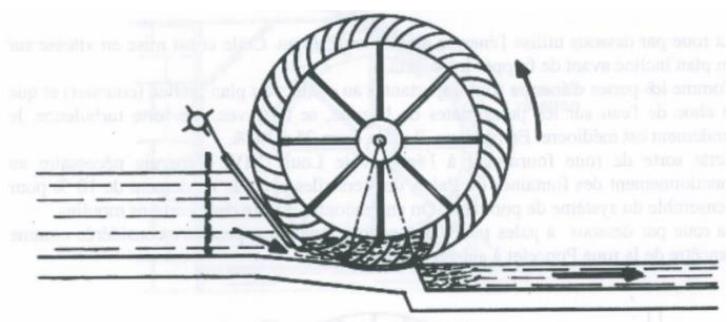


Figure 9: Roue « Poncelet » (Gouriérès, 2009)

En effet, une roue « Poncelet » est mise en mouvement grâce à l'eau passant sous la roue. Préalablement, cette eau est accélérée via une vanne inclinée. De cette façon, les pertes d'énergie sont réduites et le rendement sera donc meilleur que si la roue avait été alimentée classiquement par le dessous. De plus, les aubes ne sont plus plates mais légèrement inclinées et le radier constitué en béton lisse est de forme cylindrique et axé sur la roue sous un angle déterminé de 15°. (Gouriérès, 2009) La roue « Poncelet » a un rendement supérieur aux roues précédemment citées de 50 à 65 % (Département du développement durable, n.d.) & (Merytherm bureau d'étude, n.d.).

La roue « Zuppinger » possède un meilleur rendement que la roue Poncelet et a la capacité de fournir des vitesses plus grandes de rotation que la roue « Sagebien ». Cette information provient d'un commentaire de Monsieur Sterstevens, facilitateur hydroélectricité à la retraite. Celle-ci a été faite dans le cadre de remarques sur un mémoire. (Barbier, 2006) Le bureau d'étude annonce un rendement de près de 70 % pour la roue Zuppinger (Merytherm bureau d'étude, n.d.).

Selon les sources trouvées, les roues hydrauliques demandent des débits assez importants. Par exemple, une étude réalisée sur une roue « Poncelet » parle de 1,3 m³/s ("Etude d'une roue poncelet," 2010) . Un autre site parle de 0,8 à 0,9 m³/s (De Vilaret, n.d.).

1.6.2 Principaux types de turbines

Deux grands types de turbines hydrauliques existent : il s'agit des turbines à action, appelées également à impulsion, et les turbines à réaction.

Les premières turbines vont exploiter, à la sortie de l'injecteur, l'énergie cinétique de l'eau à pression atmosphérique. L'écoulement de l'eau va simplement être dévié par le rotor et il n'y a pas de changement de vitesse. Concernant les turbines à réaction, elles vont exploiter l'énergie cinétique de l'eau ainsi que l'énergie sous forme de pression. Il existe en effet une différence de pression entre l'entrée et la sortie du rotor. L'écoulement se voit donc accéléré en plus d'être dévié dans ce type de turbine. (Gunt Hamburg, 1995)

Dans les turbines à action, nous pouvons retrouver par exemple les turbines « Pelton », « Turgo » mais également la turbine « crossflow » connue aussi sous le nom de Banki-Michel. Dans l'autre catégorie de turbine, il y a celle à réaction, la turbine « Kaplan » et « Francis ». Evidemment, d'autres turbines existent comme la « Schwamkrug » (abandonnée au profit de la Pelton), hélices, etc. (Gourièrs, 2009)

La Figure 10 met en avant les plages d'utilisations optimales des turbines en fonction de deux paramètres inhérents aux sites ayant été mis en avant antérieurement. Il s'agit du débit et de la hauteur de chute.

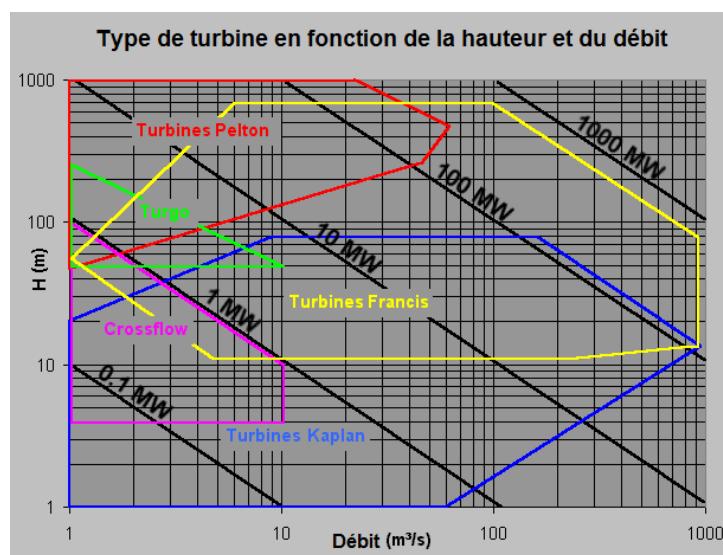


Figure 10: Domaines d'applications des types de turbine (Vincent Boucton, 2009)

En pratique, une turbine peut fonctionner pour des hauteurs et débits différents mais son rendement s'en verra affecter. Pour comprendre pourquoi ces turbines fonctionnent de manière optimale dans une certaine plage, il faut également tenir compte d'un autre paramètre. Il s'agit de la vitesse spécifique.

En effet, la vitesse spécifique « n_s » (Équation 1) est la vitesse idéale d'une turbine produisant, pour une unité de hauteur de chute, une unité de puissance. Cette vitesse est donnée par les fabricants et se réfère à l'efficacité maximale de la turbine. La connaissance de cette vitesse va permettre de calculer de manière précise les performances d'une turbine en fonction de la hauteur de chute et du débit. (Vincent Boucton, 2009)

Cette vitesse est calculée via la formule suivante :

Équation 1: Vitesse spécifique (Gouriérès, 2009)

$$N_s = N \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

- « N » correspond vitesse de rotation tours/min
- « P » puissance nette (en CV^3) $\rightarrow P = 11 Q H$ (correspond à un rendement de 82,5 %)
- « Q » débit en m^3/s
- « H » hauteur de chute brute en m

(Gouriérès, 2009)

La figure suivante met en avant la variation de rendement des turbines en fonction de la vitesse spécifique.

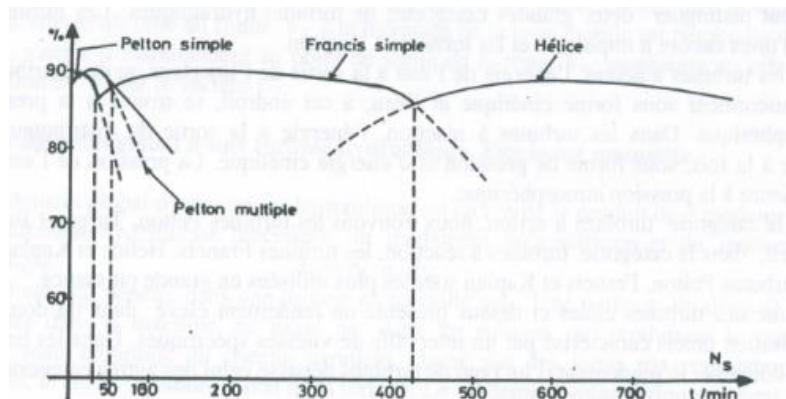


Figure 11: Variation du rendement des turbines en fonction de la vitesse spécifique (Gouriérès, 2009)

³ CV : Un cheval vapeur. Un CV correspond à 75 kg m/s, ce qui équivaut à 736 W. (Gouriérès, 2009)

Le tableau suivant va permettre de visualiser le domaine d'utilisation des différentes turbines en fonction de leur vitesse spécifique.

Tableau 2: Types de turbine en fonction de leur vitesse spécifique (Gouriérès, 2009)

Vitesses spécifiques NS	Types de turbine utilisés
De 2 à 30 t/min	Pelton à un jet
De 30 à 80	Pelton à jets multiples
De 80 à 120	Francis simple
De 120 à 350	Francis simple ou double
De 350 à 380	Francis double
De 380 à 500	Francis double ou Kaplan (Hélice)
Au-delà de 800	Kaplan (Hélice)

Une turbine avec un petit « n_s » tournera rapidement alors qu'une turbine avec un grand « n_s » tournera plus lentement. En fonction de cette vitesse, l'ajout d'un multiplicateur sera nécessaire à la turbine ou non. C'est notamment le cas pour les turbines de type « crossflow » mais également pour les turbines Francis utilisées en basse chute. Le multiplicateur n'est pas utilisé en grande puissance.

Pour le choix de la turbine, il est également intéressant de prendre conscience que son rendement fluctue en fonction de la variation de débit. Nous constaterons que les turbines à action ont tendance à avoir un rendement acceptable même à charge partielle tandis que les turbines dites à réaction vont avoir un rendement qui va plus vite être affecté par une variation de débit (Figure 12.).

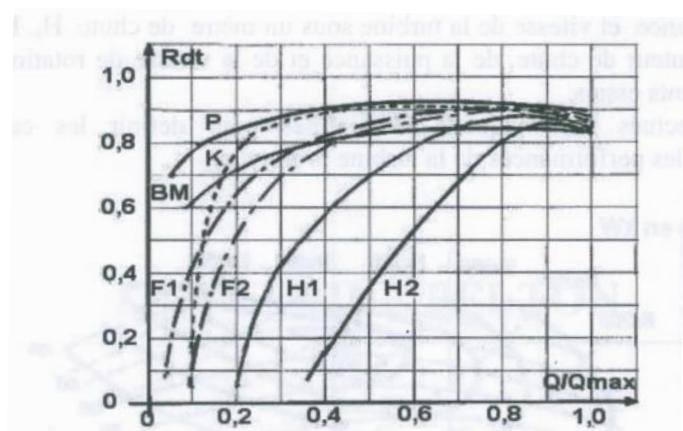


Figure 12: Rendements de divers types de turbines à charge partielle (Gouriérès, 2009)

Sur la Figure 12, nous pouvons visualiser différentes lettres. Celles-ci font référence aux différents modèles de turbine.

Tableau 3: Légende de la figure 12 (Gouriérès, 2009)

P	Pelton
K	Kaplan
BM	Banki-Michel
F1	Francis (roue lente)
F2	Francis (roue rapide)
H1	Hélice (directrices mobiles)
H2	Hélice (directrices fixes)

A titre d'information, il est parfois plus intéressant d'installer 2 turbines de puissance équivalente à une plus grosse. Par exemple, si nous regardons le point de vue économique, il conviendra d'installer une turbine de grosse puissance. Ainsi, nous limiterons le nombre d'équipements à installer. Cependant du point de vue pratique, il est intéressant de subdiviser la puissance totale ; ainsi, cela permettra d'assurer la sécurité d'alimentation. En effet, nous augmenterons la plage de fonctionnement de la centrale en évitant de mettre toute l'installation à l'arrêt lors de la maintenance. (Lycée Chevrollier, 2010)

1.6.2.1 Turbines à action

La turbine « Pelton » est adaptée aux hautes chutes (paragraphe 1.4) et aux faibles débits. Néanmoins, si cette technologie possède un multiplicateur de vitesse, elle peut fonctionner sous de plus faibles chutes et des débits relativement faibles. Un avantage de cette turbine est que son rendement est peu sensible à la fluctuation du débit. Cependant, cette turbine est mal adaptée aux variations de chutes qui vont entraîner une modification de la vitesse du jet (Lycée Chevrollier, 2010).

Cette turbine est composée de 3 parties :

- L'injecteur réalise l'admission de l'eau (le nombre d'injecteur peut être multiple) ;
- La roue mobile comporte plusieurs augets placés à l'intérieur d'un carter de protection ;
- Le déflecteur va assurer l'arrêt de la turbine de manière rapide et ce en déviant le jet d'eau qui frappe les augets.

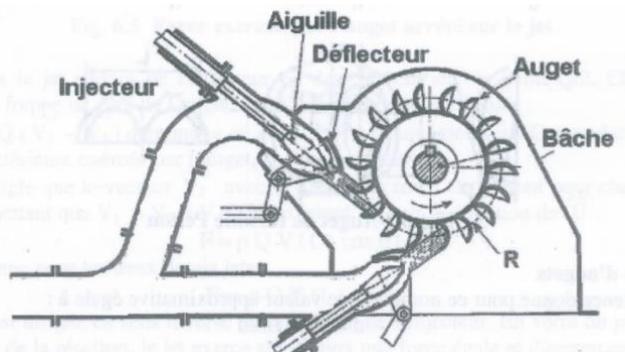


Figure 13: Turbine « Pelton » à axe horizontal à deux injecteurs (Gouriérès, 2009)

Les augets ont une dimension qui doit respecter certaines proportions pour assurer le meilleur rendement. Il s'agit de la longueur des augets, de la hauteur de ceux-ci, etc. rapportées au diamètre du jet d'eau. Le nombre d'augets varie entre 15 et 25. (Gouriérès, 2009)

La turbine « Turgo » est une variante de la turbine Pelton. Cette turbine possède un axe vertical voire horizontal comme la turbine « Pelton » ("Types Of Water Turbines - Waterturbines," n.d.). En outre, les augets présents ne sont plus perpendiculaires au plan de rotation de la roue mais ils présentent une légère inclinaison de 20° voire plus. De cette turbine, nous pouvons également dire qu'elle possède des avantages sur la « Pelton » et la « Francis » pour certaines applications.

Par exemple, elle est moins chère que la « Pelton » et plus simple à construire. Son diamètre est réduit et sa rotation plus rapide pour une même puissance. Cela permet une réduction du prix de la turbine et du générateur. Par rapport à la turbine « Francis », le carter n'a pas besoin d'être aussi résistant étant donné que la pression y étant exercée est similaire à la pression atmosphérique. (Gouriérès, 2009)

La turbine « Turgo » fonctionne dans une plage qui chevauche la turbine « Pelton » et la turbine « Francis ». Notons que ce type de turbine sera préféré pour des plus petites installations pour lesquelles le faible coût est un critère important. (“Types Of Water Turbines - Waterturbines,” n.d.) & (Gilkes, 2010)

La turbine « *Banki-Miche* » (Figure 14, p22) possède :

- Une bâche d'alimentation avec un injecteur ;
- Un rotor muni de plusieurs aubages.

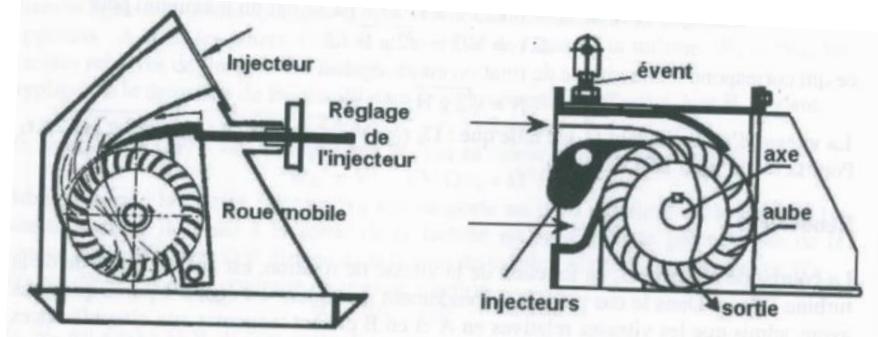


Figure 14: Coupes médianes d'une Turbine crossflow à simple et à double injecteurs (Gouriérès, 2009)

Le tout va être recouvert d'un carter. Elle peut posséder deux injecteurs, le but étant de doubler le débit absorbé par le rotor et donc d'augmenter la puissance proportionnellement. L'eau arrive sur les aubages avec un angle de 45° (1 injecteur) ou de 90° (2 injecteurs). L'eau, dans cette turbine, traverse deux fois les aubages. Lors de chaque passage, l'eau exerce une force sur les aubages qui va entraîner le rotor. L'épaisseur du jet envoyé sur la roue via l'injecteur ne doit pas être supérieure au tiers du diamètre de la roue environ pour fonctionner dans de bonnes conditions. Elle fonctionne pour de faibles débits et des moyennes voire basses chutes (Vincent Boucton, 2009).

A titre d'information, nous pouvons dire que ce type de turbine est produit en Europe par deux sociétés dont une en Belgique, la Société Belge JLA & CO Sprl.

(Gouriérès, 2009)

1.6.2.2 *Turbines à réaction*

La « *turbine Francis* » (Figure 15,p23) est composée de diverses parties :

- La bâche d'alimentation possédant un distributeur et des directrices (séries d'aubages profilés) ;
- La roue mobile ;
- Le diffuseur nommé aussi aspirateur.

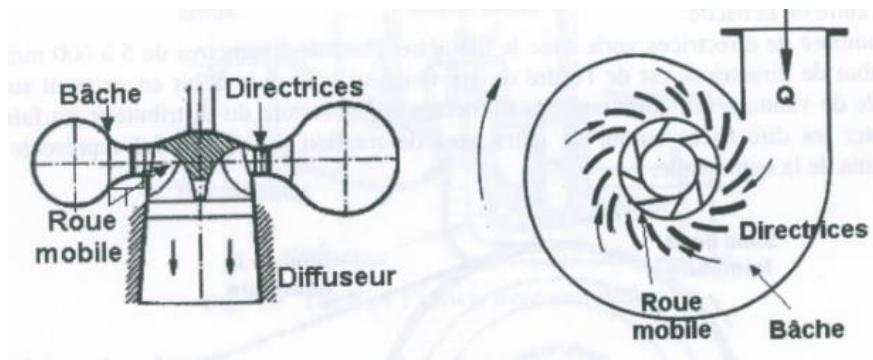


Figure 15: Coupes axiale et transversale d'une turbine Francis (Gouriérès, 2009)

La bâche d'alimentation a une forme de spirale réalisée de telle manière à ce que le débit de l'eau passant à travers les aubages soit constant (Lycée Teilhard de Chardin, 2009). Concernant le nombre de directrices, il va varier en fonction du diamètre de la roue. Lorsque le diamètre varie de 5 à 600 mm, le nombre d'aubages avoisine 10. Il est possible d'agir sur le distributeur en le fermant ou l'ouvrant en actionnant le cercle de vannage. Le cercle de vannage est lié à des biellettes (Figure 16) elles-mêmes liées aux directrices. Ce type de turbine est souvent inféodé aux aménagements de moyennes chutes (paragraphe 1.4). (Gouriérès, 2009)

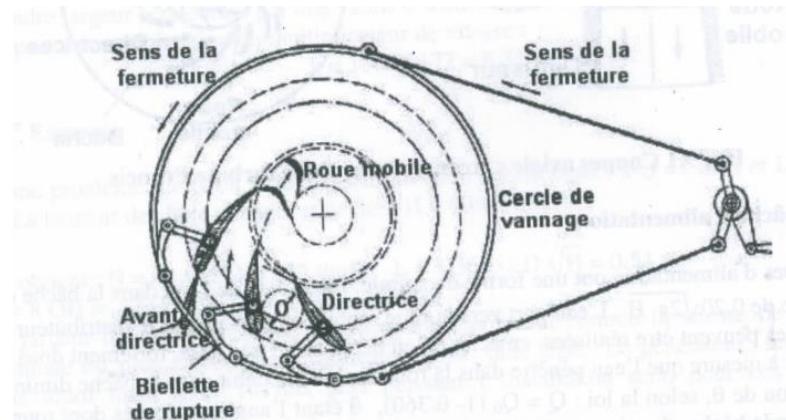


Figure 16: Cercle de vannage (Gouriérès, 2009)

La « *turbine Kaplan* » est une turbine employée pour les aménagements de basse chute (paragraphe 1.4). La « *turbine Kaplan* » est une turbine *Hélice* améliorée. Nous pouvons également dire que cette dernière est assez sensible aux variations de débit. Afin de conserver un bon rendement pour une gamme étendue de débit, son hélice a un « *pas variable* ». La notion de « *pas variable* » signifie que la pale adapte sa position en fonction des conditions auxquelles elle est soumise (Iglesias, 2015).

La turbine dite « *Bulb* » est une turbine Kaplan à axe horizontal.

Les turbines « *Kaplan* » et « *Hélice* » sont composées de plusieurs parties :

- La bâche ou une chambre d'eau ;
- Le distributeur possédant ses directrices ;
- La roue hélice et ;
- Le diffuseur.

Notons que la bâche ainsi que le diffuseur sont similaires à ceux rencontrés sur la turbine Francis.

Cette turbine Kaplan ainsi qu'Hélice ont un écoulement axial. Il est également important de préciser que si les turbines sont installées dans une chambre d'eau, il faut au moins un mètre d'eau au-dessus d'elles pour éviter les problèmes de cavitation.

(Gouriérès, 2009)

Les rendements des turbines présentées sont supérieurs aux roues hydrauliques. Ces rendements varient de 60 % à 85 %. (Département du développement durable, 2017)

1.6.3 Technologies modernes

La production d'électricité par la force de l'eau est largement répandue sur le globe, cependant cette technique, comme nous l'avons vu, pose notamment des problèmes. Il convient donc de rendre les technologies « self-fish » ou ichyo-compatibles.

Vis d'Archimède

Cette technologie est connue depuis des centaines d'années. Elle sert déjà depuis longtemps à éléver de grandes quantités d'eau sur un relief relativement faible. D'ailleurs, nous l'utilisons encore aujourd'hui pour relever notamment les eaux usées des stations d'épuration. Ce n'est que depuis le début des années 90 que la vis hydrodynamique est utilisée en tant que turbine. En 2015, il en existait environ 400 à travers le monde. (Dellinger, Terfous, Ghenaim, & Garambois, 2015)

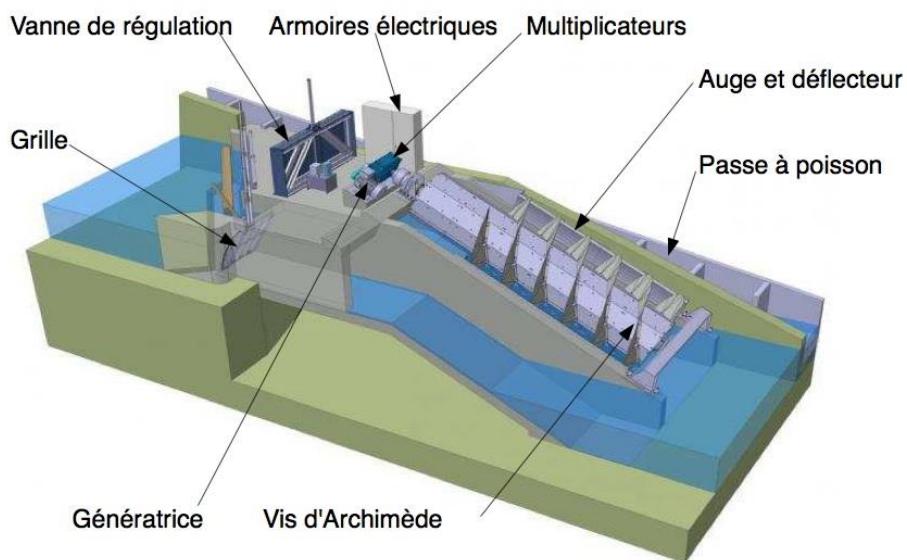


Figure 17: Vis hydrodynamique (Allard, 2015)

Un avantage de cette technique c'est qu'elle peut charrier de gros objets sans être endommagée. Néanmoins, par soucis de sécurité, une grille sera placée avant l'entrée d'eau. Le plus gros avantage de ce type de turbine c'est qu'elle est reprise ichyo-compatible. Cela a notamment été prouvé par des études allemandes et anglaises. La puissance pouvant être fournie par ce type de roue est de plusieurs kilowatts, cela dépend notamment du débit, de la hauteur de chute mais également du diamètre de la vis. (Merytherm Bureau d'Etude, n.d.) Spaans Babcock précise qu'il existe actuellement des vis pour débit supérieur à 100 litre/s (Spaans Babcock, 2015).

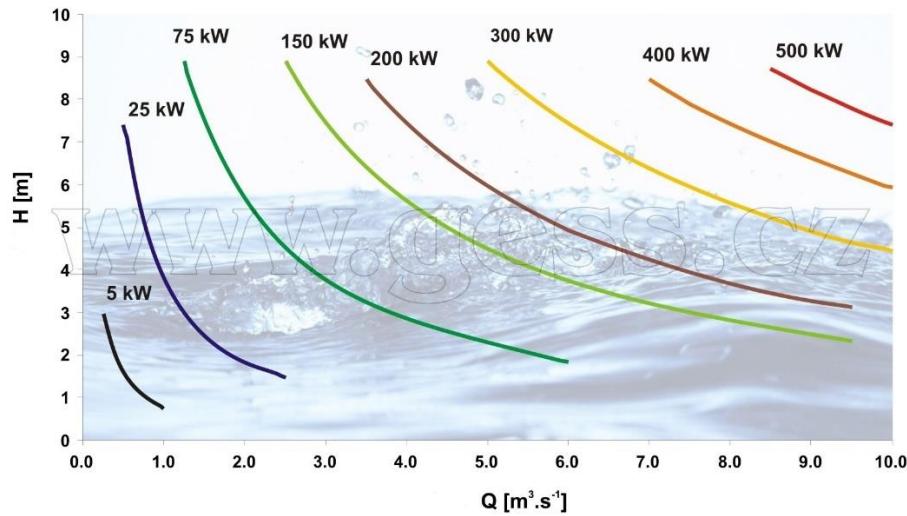


Figure 18: Puissance des différentes vis hydrauliques mises sur le marché (GESS-CZ. s.r.o., n.d.)

Actuellement la plus petite puissance installée en Wallonie est une vis de 15 kW. (Compers 2017, D'Hernoncourt)

Plusieurs théories expliquent qu'il est quasiment impossible de turbiner au moyen d'une vis sous un mètre d'une chute si le débit n'est pas supérieur à 500 l/s. Le poids de l'eau n'est pas suffisant pour assurer l'entrainement de la roue. En effet, il faut que le débit soit suffisant pour vaincre les frottements de la machine. (Sauthier, 2014)

VLH

La technologie VLH est aussi ichyo-compatible. En effet, selon des études réalisées notamment en collaboration avec l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), cette turbine ne provoque pas de mortalité piscicole (Tixier, 2014). Cette turbine est dotée de 8 pales qui peuvent se fermer sur elles-mêmes. En fonction du débit et de la chute nette, l'ouverture des pales est commandée hydrauliquement. Il est également intéressant que ce soit une structure autoportante qui est mise en place en une seule manœuvre. Nous pouvons également dire qu'elle est adaptée à des chutes allant de 1,5 à 4,5 m et qu'elle peut accepter des débits allant de 10 à 27 m³/s. La puissance de cette dernière peut monter jusqu'à 500 kW. Notons qu'en dessous de 100 kW, l'installation de ce genre de turbine ne s'avère pas rentable. (MJ2 Technologies, 2013)



Figure 19 : Turbine VLH (Tixier, 2014)

1.7 Restor Hydro

Restor hydro est un projet européen. Ce projet met en avant le fait qu'il existe encore de nombreux sites potentiels pour la production d'hydroélectricité. L'objectif de ce projet est de promouvoir la production d'énergies renouvelables. Il a donc cartographié les anciens sites de moulins et petites centrales hydroélectriques susceptibles d'être réhabilités. En Europe, ce projet estime qu'il existe encore plus de 300 000 sites dont 2548 en Belgique. (Restor Hydro, n.d.)

Il est donc dans l'intérêt des constructeurs d'essayer de conquérir ce marché en s'adaptant. Actuellement, ils visent donc à répondre à cette demande en miniaturisant les technologies pour répondre à ce type de site. Nous considérons, que sur le marché, les technologies ont des puissances variant de 400 W à 60 kW. (Merytherm Bureau d'Etude, n.d.) Certaines peuvent avoir des puissances inférieures. (Hydric, 2015b)

Le but de ces machines dites « pico-turbine » vise à réduire les travaux de génie-civil destinés à leur mise en place et par la suite à leur exploitation. D'une manière générale, ces machines sont compactes et simples. En général, ce type de petites turbines est de type Kaplan.

Comme exemple, nous pouvons citer « la lynx » de chez Turbiwatt adaptée à une chute nette allant de 1,2 m à 2 m avec des débits variant de 50 à 70 l/s. (Merytherm Bureau d'Etude, n.d.) Nous pouvons également citer les technologies suivantes : « Powerspout Low Head », hydrolienne domestique, etc. (Leclercq, 2016), (PowerSpout, n.d.), (Merytherm Bureau d'Etude, n.d.), & (Turbiwatt, n.d.-a).

Notons que les plus petites turbines, comme la Lynx, ont vu le jour dans le but de produire de petites quantités d'électricité pour l'autoconsommer (Com.pers 2017, Merytherm bureau d'étude).

2 Projet hydraulique

2.1 Objectif

Ce projet a pour objectif d'évaluer le potentiel d'un site hydraulique bien précis. Le projet se situe dans la commune de Saint-Léger (Sud de la Province de Luxembourg) dans une propriété privée. Le propriétaire aimerait savoir s'il y a moyen d'assurer son autonomie électrique en utilisant la force du cours d'eau situé à l'arrière de son habitation. Ce sera également l'occasion de mettre en avant les difficultés qui peuvent être rencontrées lors de la réhabilitation d'anciens sites.

2.2 Partie théorique

Ce chapitre sera composé de deux sous-chapitres.

Bien que le premier soit essentiellement théorique, il n'en est pas moins intéressant. Il va permettre d'apporter un complément d'informations par rapport à la partie intitulée « généralités ». Il nous permettra également de mieux saisir les différents points abordés lors de l'analyse d'un projet hydraulique.

Ici, nous allons aborder les bases de la législation s'appliquant aux projets hydrauliques similaires au projet étudié. Nous profiterons également de ce chapitre pour parler de la coopérative « Gaume Energies »⁴ et de mon organisme d'accueil (Guichet Energie Wallonie). Un mot sur le régime des certificats verts pour les petites puissances fait aussi partie de ce chapitre. Pour conclure, certaines caractéristiques du site d'étude seront expliquées : la classification du cours d'eau, la localisation, etc. L'ensemble de ces informations permettra d'aborder, avec une meilleure connaissance, chaque partie de ce travail.

Le deuxième chapitre, quant à lui, sera essentiellement tourné sur les méthodes employées pour obtenir nos résultats : débit, hauteur d'eau et potentiel hydraulique et électrique. Dans la mesure du possible, chaque méthode sera expliquée et justifiée. Un mot sur les consommations électriques de l'habitation du propriétaire sera aussi mis en avant. Nous essayerons également de chiffrer le coût de ce projet et de voir la ou les technologies qui seraient adéquates pour ce site.

2.2.1 Coopérative « Gaume Energies » et guichet énergie Wallonie

La coopérative « Gaume Energies » est née le 25 juin 2014. Celle-ci a été créée par des citoyens, des agriculteurs, des associations de Gaume mais aussi des indépendants soucieux des questions énergétiques.



Figure 20: Insigne de la coopérative "Gaume Energies" (Coopérative Gaume Energies, 2017)

⁴ Lors du salon du bâtiment organisé à Arlon le 11 février 2017, Monsieur Andrianne et moi-même avons pris contact avec Madame Monfort, coopératrice de « Gaume Energies ». Cette dernière nous a proposé d'étudier la faisabilité d'un projet hydraulique.

Actuellement, elle est composée de 46 coopérateurs.

Pour le devenir, il suffit d'acheter un nombre de parts et, en contrepartie, la coopérative s'engage à verser annuellement des dividendes de 2 à 4 %. Chaque part coûte 100 euros.

Elle a pour objet social de permettre à ses coopérateurs de diminuer leurs émissions de CO₂, en incitant des propriétaires à se diriger vers des productions et des consommations durables d'énergie et ce, en les accompagnant tout au long de leur projet ainsi qu'en finançant ceux-ci. De plus, la coopérative veut promouvoir les énergies renouvelables et leur utilisation responsable.

Lorsqu'un projet est terminé, le propriétaire aura une redevance annuelle à payer pendant une période de 10 ans envers la coopérative. Le montant de celle-ci est calculé au cas par cas pour que tous les projets soient identiquement rentables pour la coopérative. (Coopérative Gaume Energies, 2017)

Les Guichets Energie Wallonie ont vu le jour dans les années 1985. En effet, la Wallonie a pris conscience de l'importance et de l'intérêt de la question énergétique. La Région wallonne a donc créé ce type de service dans le but d'inciter les gens à changer leur façon de consommer et en utilisant l'énergie de manière plus rationnelle. (Compers 2017)



Figure 21: Logo des Guichets Energie Wallonie (Province de Luxembourg, 2011)

Les guichets apportent des réponses personnalisées, neutres ainsi qu'objectives sur divers thèmes relatifs à la question de l'énergie de votre habitat. De ce fait, le citoyen peut consommer de manière plus responsable et utiliser moins d'énergie. Cette nouvelle façon d'agir assurera inévitablement une réduction de la facture et permettra de gagner en confort. (Guichets Energie (Région wallonne), n.d.) Ce type de service s'adresse aussi bien au particulier qu'aux petites et moyennes entreprises (PME) (Di, 2014).

2.2.2 Législation

Ce chapitre présente de manière concise les divers points d'attention à respecter au niveau de la législation lorsqu'une personne lambda se lance dans une aventure de réhabilitation d'un site hydroénergétique en Région Wallonne. Notons que nous focaliserons cette partie par rapport à notre endroit d'étude et ses caractéristiques (paragraphe 2.2.4, p 33).

Avant d'aborder cette partie, il convient de dire que l'exploitant d'un site doit disposer de diverses autorisations et permis pour exploiter de manière réglementaire un site hydraulique. Ceux-ci vont varier en fonction de différents paramètres comme le type de cours d'eau, la puissance installée, la localisation, etc.

L'ensemble des informations qui suivent provient du « Vade-mecum non technologique du candidat à la réhabilitation d'un site hydroénergétique » réalisé par les facilitateurs hydroénergies. (Facilitateur hydroélectrique (APERE Asbl), 2014). Des notes en bas de pages permettent d'apporter des précisions concernant les informations expliquées voire même sur le texte législatif d'où l'information a été tirée.

2.2.2.1 Droit applicable aux cours d'eau

2.2.2.1.1 Définition d'un cours d'eau

Pour parler d'un cours d'eau il faut que :

- L'eau soit en mouvement et qu'elle coule dans un lit permanent. Notons que l'origine de l'eau n'a pas d'importance (source ou eau de pluie).
- De plus, si le lit de la rivière se révèle être artificiel, ce dernier doit être en liaison avec un cours d'eau naturel afin que nous puissions lui attribuer le terme cours d'eau.

Lorsque ces deux conditions sont remplies, la loi sur les cours d'eau s'applique.⁵

2.2.2.1.2 Classification des cours d'eau

Dans le cas présent, le projet en question est situé sur un **Cours d'Eau Non Navigable** (CENN). Le Code de l'eau nomme ces rivières comme : « *les rivières ou ruisseaux non classés par le Gouvernement parmi les voies navigables, en aval du point où la superficie de l'ensemble des terres dont l'évacuation des eaux est assurée par le cours d'eau atteint au moins 100 hectares. Ce point s'appelle origine du cours d'eau* ».⁶

Notons que la notion « non-navigable » ne fait pas référence à la navigation à proprement parler. En effet, cela fait référence à un classement administratif pour désigner le gestionnaire du cours d'eau. Les catégories ont été définies sur base de la superficie de leur bassin hydrographique et les frontières administratives.

Nous pouvons ajouter que les CENN sont classés⁷ en 3 catégories en fonction de 2 paramètres : leur bassin hydrographique (bassin versant) et leurs frontières administratives.

Dans notre cas, le cours d'eau est classé en tant que CENN 3^{ème} catégorie. Cela signifie que le cours d'eau est géré par les communes. Ils sont définis comme : « *les parties de cours d'eau comprises entre le point d'origine (où le bassin versant atteint 100 ha) et la limite de la commune où est situé ce point (il s'agit de la limite communale avant la fusion des communes)* ». (Facilitateur hydroélectrique (APERE Asbl), 2014)

2.2.2.2 Réglementations concernant l'usage des cours d'eau

Dans le cas où une personne souhaite exploiter la rivière, elle doit posséder un droit d'eau mais également un droit de riveraineté. Si ce n'est pas le cas, celle-ci devra obtenir les autorisations administratives d'exploitation. Cela comprend le permis d'urbanisme, d'environnement et les autorisations CENN.

⁵ « Guide juridique relatif aux cours d'eau non navigables », Ministère de la Région wallonne, DGO₃ (Juin1997)

⁶ Code l'eau, Article D2. 20°

⁷ Les catégories suivent pour l'instant la Loi qui concerne les CENN (28/11/1967). Actuellement, elles font l'objet de discussions par l'administration en vue d'améliorer la gestion de CENN et de simplifier les compétences des entités communales, provinciales et régionales.

Concernant le **droit d'eau**, il est défini comme étant un droit ancien et qui est attaché à une propriété et non à une personne. Ce droit remonte avant la révolution française et n'a pas été aboli. Il a notamment vu le jour dans le but d'autoriser l'exploitation d'un cours d'eau d'un site.

Le **droit de riveraineté**, il est quant à lui défini par le Code civil (articles 644 et 645). Il va permettre à une personne d'obtenir le droit d'utiliser l'eau, si celle-ci est rendue à l'écosystème aquatique avant la fin de la propriété.

Ces droits n'autorisent pas l'exploitation de l'entièreté du cours d'eau mais bien d'une fraction de l'écoulement de l'eau. Il y a donc des règlementations qui sont mises en place pour cadrer cette prise d'eau.

Dans le cas d'une réhabilitation d'un site hydraulique avec une prise d'eau existante, il est recommandé de prouver son droit d'eau par l'intermédiaire des anciens documents décrivant le type de ceux-ci ou leur localisation. Si aucune modification n'est à prévoir même pour leur remise en service, il ne faut pas l'obtenir. Il suffit de prévenir l'autorité administrative et gestionnaire compétente. Cependant, lorsque des travaux (précisions au paragraphe 2.2.2.3, p 30) doivent être réalisés, il faut bénéficier d'une autorisation comprenant des informations sur :

- Le débit qui doit être réservé,
- Ainsi que la protection des poissons.

Le **débit réservé** peut être défini comme la quantité d'eau qui doit être maintenue dans le cours d'eau entre la prise et la sortie d'eau. Ce débit est mis en place dans le but d'assurer l'équilibre biologique du cours d'eau et de l'affecter le moins possible. Concernant les CENN de 3^{ème} catégorie, la commune (autorité compétente) va caractériser le débit qui doit être laissé.

Notons que le débit pour les cours d'eau de 1^{ère} catégorie est de 10 % en Wallonie. Cela correspond au percentile 95 moyen. Celui-ci est défini comme étant le débit atteint ou dépassé 347 jours par an.

Les ouvrages hydrauliques peuvent poser des problèmes pour les poissons, comme leur circulation. Il y a donc des règles à respecter. Elles ont été mises en place pour que le gestionnaire respecte la Directive Cadre de l'Eau (Directive 2000/60/CE), du règlement CE 1100/2007 (comprend des mesures concernant la préservation des anguilles européennes), etc. Il convient donc de prendre des mesures aussi bien pour la montaison des poissons comme des passes à poissons ou des protections lors de la dévalaison.

A ce propos, nous pouvons dire qu'actuellement, les seuls concernés sont les cours d'eau de 1^{ère} catégorie.

2.2.2.3 Travaux ordinaires et extraordinaires

Les travaux sont classés en des travaux ordinaires et travaux extraordinaires.

Les travaux ordinaires (travaux d'entretien d'ouvrage ou réparation) sont à la charge de la commune dans le cas des cours d'eau de 3^{ème} catégorie. Les règlements provinciaux qui précisent comment doivent être effectuées ces travaux.

Les travaux extraordinaires vont être à charge de la commune. Celle-ci agira sous tutelle de la Province concernée. Il s'agit, dans ce cas, d'une tutelle d'approbation. Notons qu'avant d'effectuer ces types de travaux, la députation permanente du Conseil Provincial doit rendre un avis et que la demande de travaux doit se faire au préalable au niveau de la commune.

La loi concernant les CENN du 28 décembre 1967 art.10 précise 2 types de travaux :

- Les travaux extraordinaires d'amélioration (exemples : approfondissement, élargissement, ...) visant à bonifier la circulation de l'eau du cours d'eau.
- Les travaux extraordinaires de modification sont des travaux différents ne visant pas à améliorer l'écoulement mais ne devant pas nuire à celui-ci.

Il convient de dire que l'ensemble des déchets comme les boues de curage ainsi que diverses matières (ex : morceaux de branches, feuilles mortes) pouvant être captées devront répondre au Décret sur les déchets (27 juin 1996). Près 90% de ces matières ont un intérêt éco-morphologique qu'il ne faut pas négliger.

2.2.2.4 Règles de l'exploitation et d'urbanisme⁸

En ce qui concerne les règles d'exploitation, nous pouvons dire que le permis d'environnement varie en fonction de la puissance installée.

- Classe 1 : > 10MW
- Classe 2 : 100 kW à 10 MW
- Classe 3 : < 100 kW

Le potentiel wallon étant limité en terme de puissance hydraulique, seuls des permis faisant référence à la classe 2 et 3 seront émis. D'une manière générale, les projets d'une puissance d'au moins 100 kW installée peuvent faire l'objet d'une étude d'incidence. Seules, les installations de classe 1 feront l'objet de cette étude d'incidence.

Néanmoins, il est important de préciser qu'en 2011 un avant-projet d'Arrêté prévoyant de changer cette classification a été adopté par le gouvernement. A ce jour, aucune information, concernant son adoption n'est connue. Depuis la rédaction du vade-mecum début 2014, rien n'a changé.

Le projet d'Arrêté vise à faire passer en classe 2 les projets dont la puissance est égale ou supérieure à 10 kW jusqu'à 10 MW installés. De plus, les centrales hydroélectriques ayant une puissance inférieure à 10 kW et situées en tête de bassin (amont du cours d'eau) feront également partie de la classe 2. Dans le texte émis, la notion « tête de bassin » ne possède pas une définition précise. Le but de ce texte est de mieux cadrer les installations de plus petites puissances. Pour ce faire, la législation leur imposera notamment des idées techniques pour la mise en œuvre de structures permettant d'assurer la sécurité et la bonne circulation des poissons.

⁸ Les procédures pour l'obtention du permis d'environnement et d'urbanisme ne feront pas l'objet de cet écrit.

Le permis d'urbanisme est requis lorsque des travaux de construction, de modification de terrain ou de relief sont prévus. L'article 84 du CWATUPE (Code wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Energie) détaille ces travaux.

2.2.3 Mécanisme des certificats verts

Les ouvrages hydrauliques bénéficient du régime de Certificats Verts (CV) comme l'ensemble des filières des énergies renouvelables. Afin de rentrer dans le marché des CV, il faut que le producteur s'enregistre auprès de l'organisme de contrôle délivrant ces titres, la Commission wallonne pour l'Energie (CWaPE, 2014).

Les CV peuvent être définis comme des titres immatériels qu'un producteur reçoit pour chaque MWh produit. Cela correspond à la quantité de 456 kg/ CO₂ évités. Ce nombre représente la quantité de CO₂ émis par une turbine gaz-vapeur possédant un rendement de 55 %, lorsqu'elle produit 1MWh d'électricité. (CWaPE, 2003) Le nombre de CV reçu va varier par rapport au K_{eco}. (Haveaux, 2014)

Ce coefficient (K_{eco}) a été calculé dans le but d'assurer un taux de rentabilité interne (TRI) de 7 à 9 % selon le type d'énergie renouvelable (Haveaux, 2014) et ainsi aider la filière (UNIPSO, 2010) . Ce coefficient est calculé pour une certaine puissance installée et va être propre à chaque filière d'énergie. Notons que le K_{eco} aura une valeur de 2,5 maximum.

Dans le cas des projets hydrauliques, le nombre de CV est variable en fonction de la puissance installée. Le Tableau 4 met en avant le nombre de CV octroyés en fonction de la puissance installée.

Tableau 4: K_{eco} applicable (Haveaux, 2014)

Puissance installée en Kw _c	K _{eco}
0-5	2,5
5-10	2,1
10-100	1,8

Lorsque le « TRI » n'est pas assuré à cause de divers travaux lourds comme les passes à poissons, le K_{eco} attribué pourra être modifié pour essayer d'atteindre ce taux sans pour autant dépasser le nombre de CV maximum pouvant être attribués. (Haveaux, 2014)

Ces titres vont prendre une valeur financière uniquement sur le marché des certificats. Le producteur a 5 ans pour échanger son titre contre une somme d'argent. D'ailleurs, le gestionnaire de réseau en tant que service public se doit de racheter à un prix minimum les CV aux producteurs s'ils n'arrivent pas à les vendre. Sur ce marché, nous pouvons également dire que le prix minimum des CV est de 65 euros⁹. Ce prix a été fixé dans le but assurer une garantie financière. (Energie Facteur 4 (EF4), n.d.)

⁹ Cela est notamment imposé par l'arrêté du gouvernement wallon du 20 décembre 2007, art. 35. (Elia, n.d.)

Notons qu'à l'heure actuelle, le prix des CV flirte avec le prix minimum. En effet, le prix du CV sur le marché des CV était de 65, 56 euros. (CWaPE, 2016) Pour l'année 2017, l'ensemble des fournisseurs d'électricité devait avoir un pourcentage de 34,3 % de leur volume d'électricité vendu. Cela correspond à la proportion qu'ils doivent obtenir dans leur mix énergétique. (CWaPE, 2015b) S'il ne respecte pas ce quota, par CV manquant, le fournisseur s'acquitte d'une amende de 100 euros. Le prix du CV ne pourra pas dépasser le prix de l'amende. (Energie Facteur 4 (EF4), n.d.)

Actuellement, les CV sont octroyés pour une période de 15 ans. Cette durée est réévaluée chaque année par la CWaPE afin de s'adapter à l'évolution du marché. Pour ce faire, elle réalise une analyse du secteur des énergies renouvelables pour revoir la situation. (CWaPE, 2015a)

2.2.4 Description du site d'étude

Lorsque la faisabilité d'un projet hydraulique est étudiée, il ne faut pas uniquement s'intéresser au potentiel énergétique du site. En effet, il convient, dans un premier temps, de s'imprégner du site en s'intéressant à sa localisation, à la classification du cours d'eau, aux contraintes environnementales et à l'aspect législatif comme le droit d'eau.

2.2.4.1 Localisation et historique

Le projet d'installation hydraulique est situé dans la commune de Saint-Léger (Figure 22) dans le village de Châtillon (Sud de la Province du Luxembourg). Le village en question est traversé par le « Ton », rivière qui prend sa source à l'entrée du village.

Antérieurement, plusieurs ouvrages hydrauliques étaient construits près de cette rivière. Les ouvrages utilisaient la force de l'eau pour scier du bois, moudre de la farine voire casser des pierres servant à alimenter des bas-fourneaux. Le site étudié pratiquait cette dernière activité. (Administration communale de Saint-Léger, n.d.-a)

Le lieu d'étude est repris comme étant un site potentiel à exploiter par le projet européen Restor Hydro. En annexe A (page I) sont mis en avant les types d'informations que ce projet recense pour l'ensemble des sites au niveau européen.(Restor Hydro, n.d.)

Le lieu-dit est le **Fourneau Dahérée** qui a vu le jour fin du 16^{ème} siècle. Il est situé le long du « Ton » et du ruisseau du Fourneau. Au cours de son activité, le fourneau a changé plusieurs fois de propriétaires. L'activité des bas-fourneaux prend fin au début du 20^{ème} siècle. (DELHEZ, 2005) A titre d'information, voici les coordonnées GPS du site : 49°37'25.2"N 5°40'55.9"E.

Le propriétaire habite désormais dans l'ancien logement des personnes qui autrefois exploitaient le bas-fourneau. Pour plus de précisions concernant la localisation de l'habitation du lieu d'étude, le plan cadastral peut être observé (Figure 23, p 34).



Figure 22: Localisation de la commune de Saint Léger (Administration communale de Saint-Léger, n.d.-b)



Figure 23: Cadastre du village de Châtillon (lieu d'étude en jaune)

Cette carte provient du « géoportail de Wallonie ». Sur la figure est représentée une partie du village de Châtillon. La zone nous concernant est représentée en jaune. Concernant l'échelle, elle est de 1/2500. (SPW, n.d.-b)

Pour de plus amples informations, en annexe peuvent être visualisées une photo aérienne du site ainsi qu'une photo du plan cadastral de la propriété : annexe B, p II

2.2.4.2 Rivière

La rivière qui nous concerne est le TON. Elle est intégrée dans le contrat rivière Semois-Chiers. Cette rivière prend sa source à Châtillon à 370 m d'altitude et se jette plus loin dans la Chiers. (Balzat, 1978)

Le TON est divisé en trois secteurs différents mais seul le début du premier secteur nous intéresse. Tout au long de ce premier secteur, long de 13 km de sa source au village d'Ethe, il y a une pente moyenne de 8,6 %. Quant à la largeur moyenne de ce cours d'eau, elle varie de 3 à 5 m et la profondeur de 0,3 à 0,5 m. (Balzat, 1978)

En ce qui concerne le projet, il est situé en tête de bassin, non loin des sources de ce premier secteur. Nous pouvons également dire que cette partie du cours d'eau est classée comme étant un CENN de 3^{ème} catégorie.

Ce classement peut être connu en allant sur le « géoportail de Wallonie » dans l'atlas des Cours d'Eau Non Navigables. Ceux-ci sont repris en différentes couleurs en fonction de leur classement. Concernant la carte provenant du « géoportail de Wallonie », nous pouvons dire que les lignes rouges représentent les CENN de 3^{ème} catégorie et les lignes noires-jaunes les CENN de 2^{ème} catégorie.



Figure 24: Carte des sources du "Ton" et du cours d'eau classé en 3ème catégorie (Localisation du site d'étude avec un point noir) ((SPW, n.d.-b))

La partie du cours d'eau qui nous intéresse est intégrée dans la formation¹⁰ du Luxembourg. Cette formation est composée de sable des calcaires gréseux et comprend différents aquifères (Orval, Florenville, Virton,) faisant partie de la masse d'eau¹¹ alimentant notre cours d'eau. (Bouezmarni, Denne, & Debbaut, 2009) En effet, notre cours d'eau est principalement alimenté par les aquifères environnants. (Debbaut, 2014)

Cela peut notamment être affirmé lorsque les isopièzes sont incurvées vers l'aval. Cela signifie que le cours d'eau est alimenté par la nappe et non l'inverse. (Lenoble, 1995)

Les isopièzes sont définies comme un ensemble de points qui sont reliés entre eux pour désigner une hauteur de nappe similaire. Notons que l'écoulement de la nappe se fait de manière perpendiculaire aux isopièzes. (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie, 2017) Celles de l'aquifère de Florenville sont visibles en vert sur la Figure 25 (p 36).

Concernant les hauteurs des masses d'eaux souterraines par rapport au sol, le site « piez'eau » met à disposition des renseignements concernant le réseau piézométrique installé en région wallonne.

¹⁰ Une formation géologique fait référence à un ensemble de couches géologiques ayant des propriétés semblables. (Sylla, 2010)

¹¹ Volumes distincts d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifère(s) (SPW, 2017)

D'ailleurs, ce site web nous renseigne notamment sur l'évolution de la masse d'eau souterraine alimentant notre cours d'eau par rapport au sol. Nous constatons que la hauteur de cette masse est assez constante dans le temps. En effet depuis, le 1er janvier 2011, elle subit des fluctuations annuelles qui oscillent de 10,45 m à 9,90 m. Celles du cours d'eau varient également de cette manière en fonction des saisons et des années. La station de mesure de la nappe d'eau est plus ou moins située à 1,7 km du lieu d'étude. (SPW, 2017)

Notons qu'il n'y a pas de captage d'eau dans les environs des sources. Par conséquent, il y a moins de risques de variation de la hauteur de cette masse. Le village de Châtillon ainsi que le village de Saint-Léger sont alimentés à partir de sources du bassin voisin, le bassin de la Rouge-eau. (Debbaut, 2014)

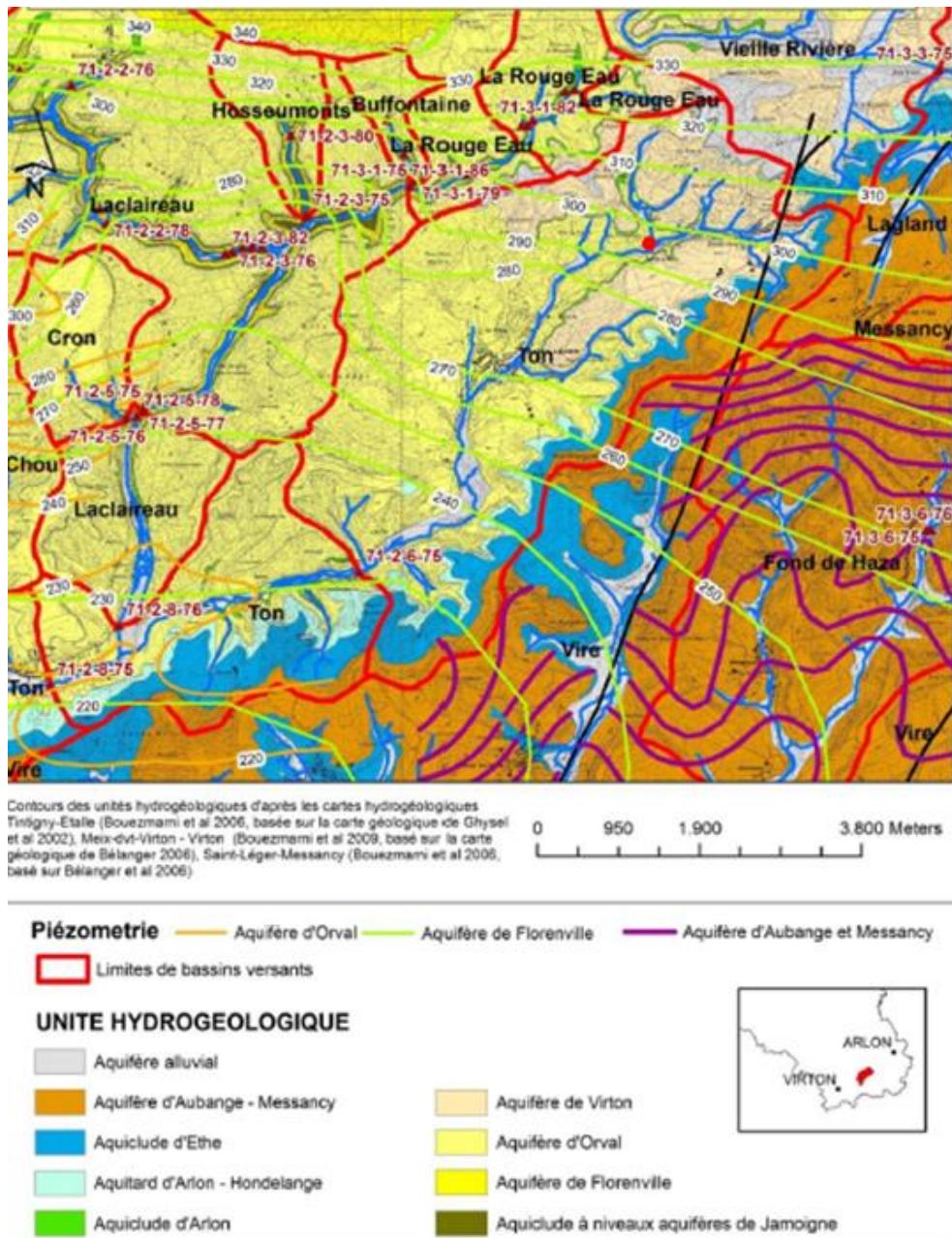


Figure 25: Bassin Ton amont (Zone d'étude localisée avec un point rouge) (Debbaut, 2014)

Les notions d'aquifère, d'aquitard ou d'aquiclude sont définies en fonction de la perméabilité des matériaux géologiques mais également en fonction de leur capacité à transmettre l'eau et à la stocker. Les aquifères sont composés de matériaux perméables tel que le sable. Il est possible de retirer des quantités importantes d'eau. A l'inverse, un aquiclude a une tendance à être imperméable comme les argiles et par conséquent ils éprouvent des difficultés à transmettre leur eau. L'aquitard est quant à lui semi-perméable. (UVED, 2008)

Au niveau du gestionnaire du cours d'eau, l'autorité compétente pour ce type de cours d'eau est la commune de Saint-Léger. Par ailleurs, la Province du Luxembourg se réserve le droit de tutelle notamment en ce qui concerne les travaux extraordinaires. (Facilitateur hydroélectrique (APERE Asbl), 2014)

2.2.4.3 Droit d'eau

Comme cela a été vu dans le paragraphe 2.2.2.2 p29, le droit d'eau est une condition sine qua non pour exploiter l'énergie hydraulique du cours d'eau. Afin de voir si le propriétaire du parc en question avait ce droit, nous avons effectué des recherches. Dans un premier temps, nous nous sommes concentrés sur l'acte d'achat de la maison. Cependant, celui-ci ne met pas en avant un droit d'eau pour le site en question.

Nous avons donc essayé de trouver une preuve permettant de prouver qu'antérieurement, une ancienne activité utilisait l'énergie hydraulique. Des recherches ont donc été entreprises auprès des archives d'Arlon pour essayer de trouver les actes antérieurs de vente de la maison et ainsi avoir une preuve écrite de ce droit. Cependant, rien n'a été répertorié sur le Fourneau Dahérée.

Par ailleurs, le propriétaire des lieux, passionné et curieux de connaître l'histoire de sa maison et des lieux aux alentours, nous a transmis certaines informations qu'il avait en sa possession comme un plan général du Fourneau Dahérée. Ce plan, datant de 1812, montre distinctement que jadis une activité industrielle utilisait la force de l'eau. Seule, la moitié de la carte est visible sur la Figure 27 (p38.) qui montre les bocards hydrauliques (Figure 26). Ceux-ci servaient à casser les pierres utilisées dans les bas fourneaux pour produire de la fonte.

De plus, il avait un plan cadastral du village de Châtillon datant de 1890 montrant le site du Fourneau Dahérée (annexe B ,p II). Les originaux peuvent être trouvés au niveau des archives de l'état à Arlon.

De plus, Monsieur Delhez, auteur du livre « *La sidérurgie gaumaise. Tome 2: les usines.* », dit que dans les années 1780 une autorisation a été accordée pour la mise en place de bocards hydrauliques sur le site du Fourneau Dahérée : « *Elle dispose par ailleurs d'un premier bocard, complété par un second implanté en amont sur le Ton, dont l'érection est autorisée le 15 juillet 1780.* » Ce passage se trouve à la page 200 du livre de Monsieur Delhez. (DELHEZ, 2005)

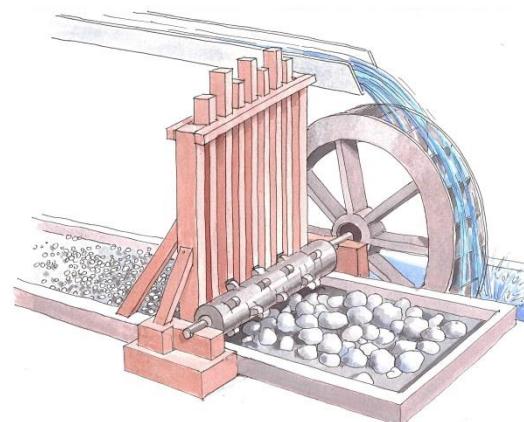


Figure 26: Bocard hydraulique (Vialas, 2017)

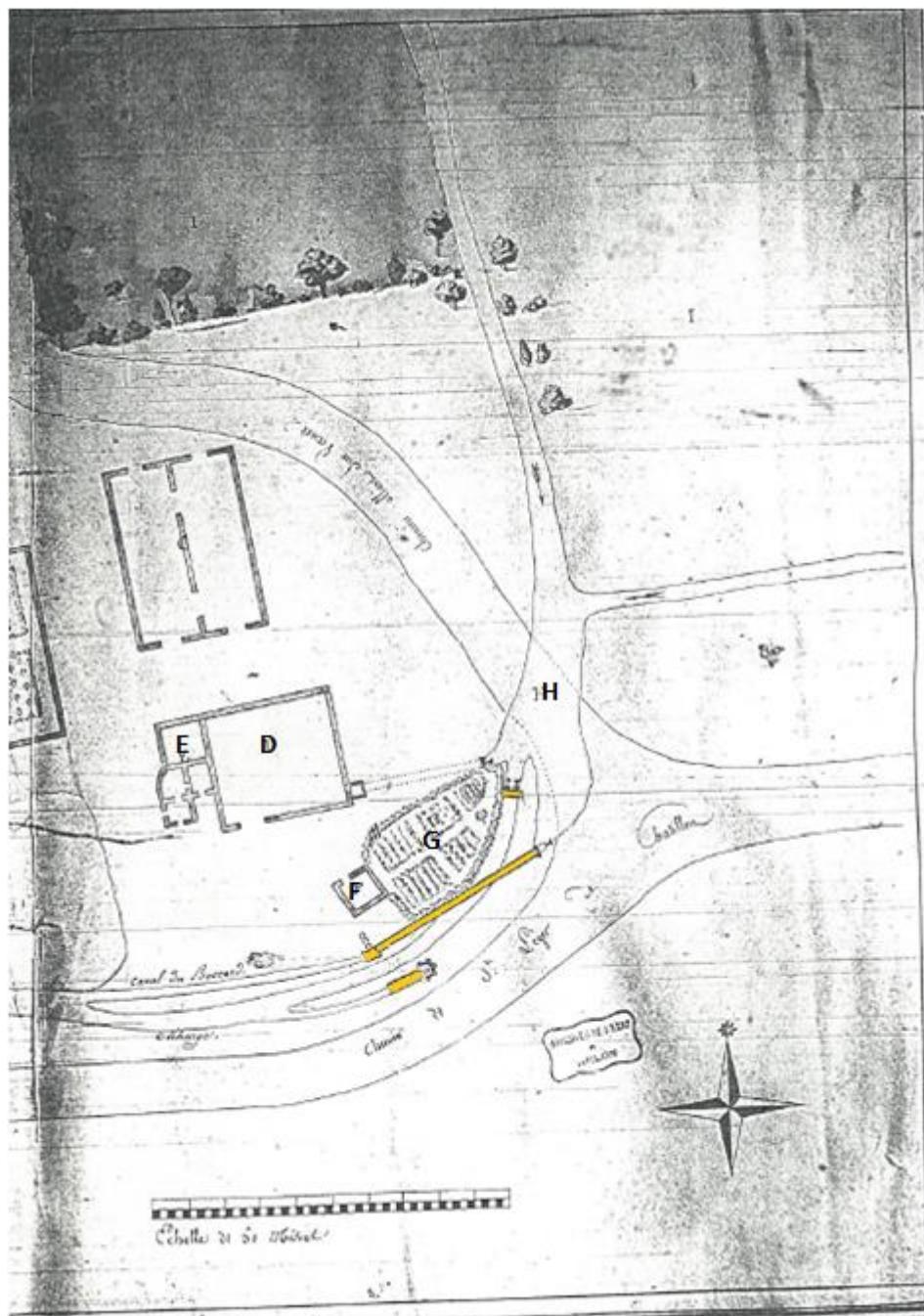


Figure 27: Plan du Fourneau Dahérée de 1812 modifié (bocards hydrauliques en jaune)

Légende :

- D : haut fourneau
- E : ancien logement
- F : four à pain
- G : jardin
- H : rivière

(DELHEZ, 2005)

Nous pouvons également rappeler que le projet européen « Restor Hydro » a répertorié le site. (Restor Hydro, n.d.)

2.2.4.4 Environnement

Milieu naturel

Le site d'étude ne se trouve pas sur une zone protégée. En effet, la zone n'est pas renseignée dans une zone Natura 2000. Par conséquent, elle n'est pas soumise aux 2 directives cadres appliquées à ce réseau écologique européen.

- Directive « Habitat » (92/43/CEE) : protection concernant les habitats naturels mais également la faune et la flore sauvages.
 - Directive « Oiseaux » (2009/ 147/CEE) : protection des oiseaux sauvages ainsi que de leur habitat.

(Natura 2000, n.d.)

Néanmoins, un site se situe à environ 500 mètres de notre zone d'étude. A priori, il n'y a aucun risque pour qu'une installation hydraulique provoque des dommages sur une espèce.

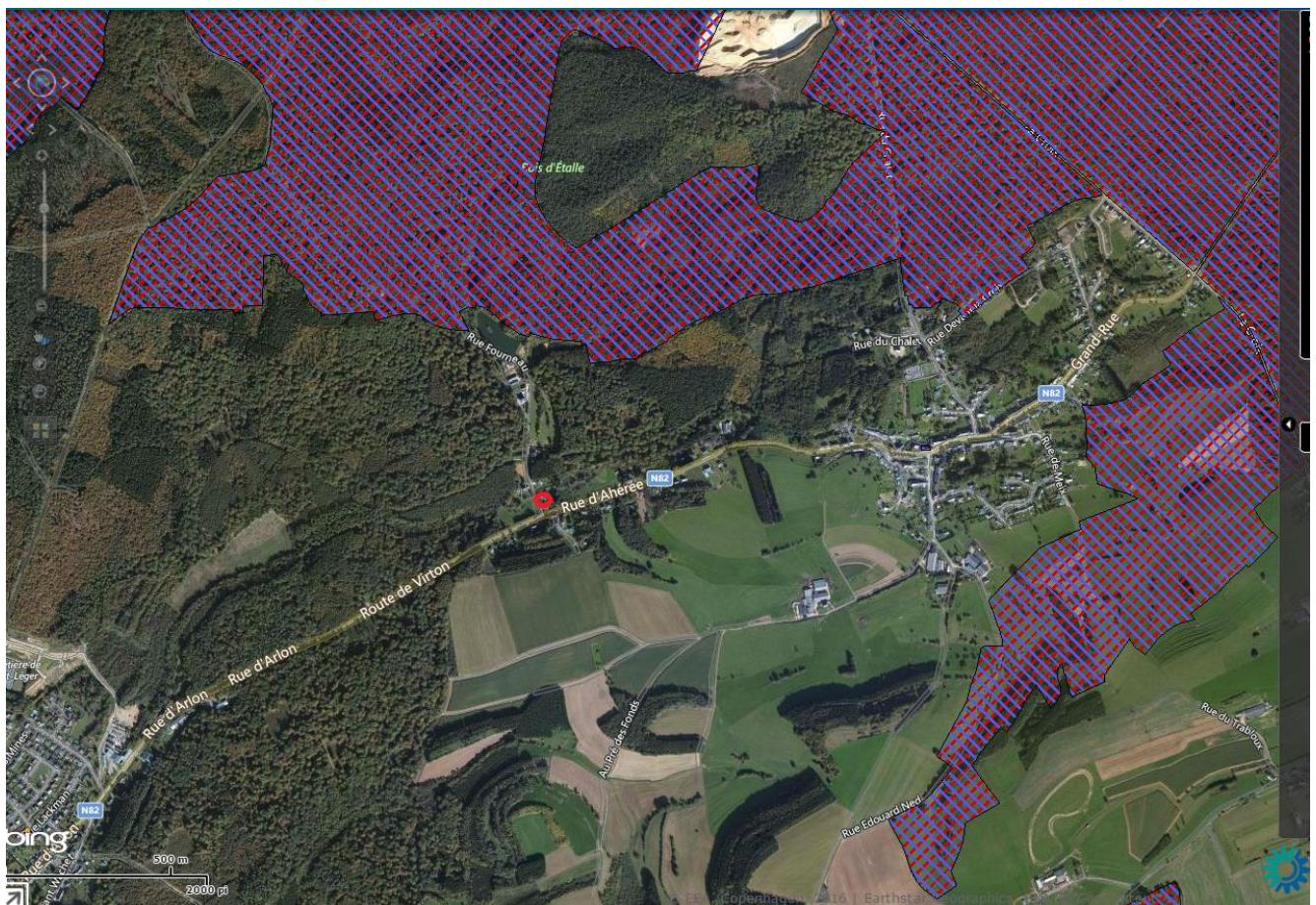


Figure 28: Site Natura 2000 en mauve et bleu (localisation de l'habitation en rouge) (Natura 2000, n.d.)

Par ailleurs, l'installation devra respecter la législation sur les cours d'eau et tous les travaux devront faire l'objet d'autorisation du gestionnaire du cours d'eau (paragraphe 2.2.2.3. p 30).

Faune

D'après le propriétaire, des truites remontent le cours d'eau pour frayer. D'ailleurs, le chef des travaux de la commune de Saint-Léger le confirme. Lors des visites effectuées durant le mois de mars et mai sur le site, aucun poisson n'a été observé. Il est donc possible que, pendant la période de frai des salmonidés, des truites remontent le cours d'eau pour pondre. La période s'étale de novembre à janvier. (Ecole de pêche, n.d.)

Riverain

Le projet se trouve derrière l'habitation à environ 60 mètres de la route. De plus, derrière le site, aucune habitation n'est présente hormis des étangs non entretenus. Le projet du site sera donc peu voire non visible du voisinage et n'impactera pas la beauté historique du site.



Figure 29: Vue aérienne de l'environnement autour du site (localisé par un carré rouge) (carte provenant du Géoportail-WalOnMap) (SPW, n.d.-b)

2.3 Partie pratique

Cette partie met en avant les méthodes et les résultats que nous avons obtenus concernant le débit, la hauteur de chute, le potentiel hydraulique et les coûts de l'installation. Nous essayerons également de faire ressortir les impacts de ce projet sur l'écosystème aquatique.

2.3.1 Débit

L'idéal aurait été de réaliser la méthode *des débits classés* ; cependant, par manque de données, cette méthode n'a pu être utilisée. Méthode qui consiste à classer l'ensemble des débits relevés de manière décroissante durant une période de 10 ans minimum pour un site. Ainsi, un débit annuel moyen peut être calculé par rapport à ces données. Cette méthode n'a pas pu être employée dans le cas présent. La première station de mesure du débit du cours d'eau se trouve à environ 12,5 km en aval du point d'étude.

Il a donc fallu trouver une autre méthode pour essayer d'obtenir une mesure de débit reflétant le régime du cours d'eau. Les méthodes vont différer en fonction du site. En effet, il existe plusieurs techniques pour calculer le débit du cours d'eau à un instant « T ». Nous pouvons citer la technique du moulinet, la conductibilité électrique du cours d'eau, calcul de vitesse de cours d'eau via un appareil à ultrasons, etc. (André, 1976)

Le site est situé au confluent de deux bras d'eau : un ancien bief et le ruisseau du Fourneau. Il faut donc trouver un endroit où mesurer le débit.

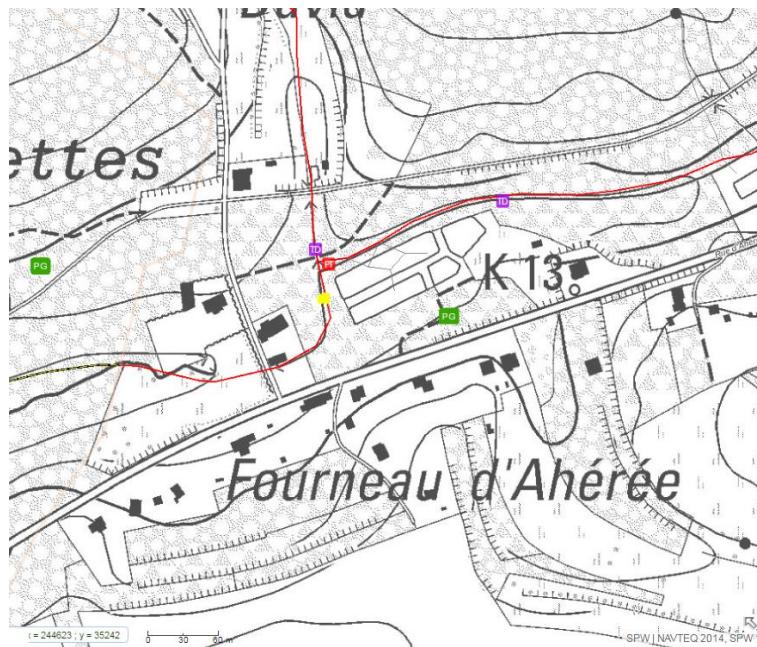


Figure 30: Carte localisant notre zone d'étude (point jaune) et mettant en évidence (en trait rouge) les deux cours d'eau alimentant le site (carte du géoportail de Wallonie-WalOnMap) (SPW, n.d.-b)

Notons que l'ensemble des mesures de débit a été réalisé le 31 mars 2017. A titre d'information, lors de cette date, il n'avait pas plu durant une certaine période (1 bon mois). Le débit en question se rapprochait donc peut-être du débit pouvant être trouvé par temps plus sec.

2.3.1.1 *Jaugeage par dilution de traceur*

2.3.1.1.1 Méthodologie sur le terrain

Avant de commencer la mesure de débit, il faut prendre connaissance de la conductibilité (K) de départ du cours d'eau. Il faut placer la sonde (modèle CDC 401) au niveau du cours d'eau pour l'obtenir. Elle est de ± 202 microsimens/cm. La conductibilité est assez faible mais cela est dû à la nature géologique du lieu (grès, sable, ...) (compers 2017, DEBBAUT). La conductibilité du cours d'eau reflète la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique et est influencée par la température. Dans notre cas, l'appareil qui a été utilisé corrige la température du cours d'eau (11° C) afin de donner la conductibilité pour une température de référence de 25 ° C. En effet, plus la température va être importante, plus la conductibilité sera importante. Il convient donc d'avoir une mesure faite sur une base standard afin de pouvoir comparer la conductibilité des différents cours d'eau entre eux. (Aquatechnique, 2003)

Lorsque la conductibilité de base est connue, il faut régler le conductimètre pour un certain pas de temps. Dans notre cas, l'enregistrement des mesures s'est effectué toutes les 30 secondes. Ces données ont été enregistrées sur une clé USB dans un « fichier.xls. ». Précisons que la sonde du conductimètre a été placée au milieu du cours d'eau et à une certaine distance (± 45 m) de la zone de déversement du traceur.

Ensuite, une quantité définie de traceur (741 g de NaCl) a été mélangée dans un volume d'eau du cours d'eau. Cette solution a alors été introduite dans le cours d'eau. D'ailleurs, il faut dire que le déversement du traceur s'effectue dans une zone où l'écoulement est turbulent afin de bien mélanger le soluté mis dans l'eau et respecter la condition de bon mélange. Lorsque cette technique est utilisée, il faut d'abord commencer en aval du cours d'eau. Ainsi, le soluté placé dans le cours d'eau n'interférera pas par la suite sur une mesure effectuée en amont.

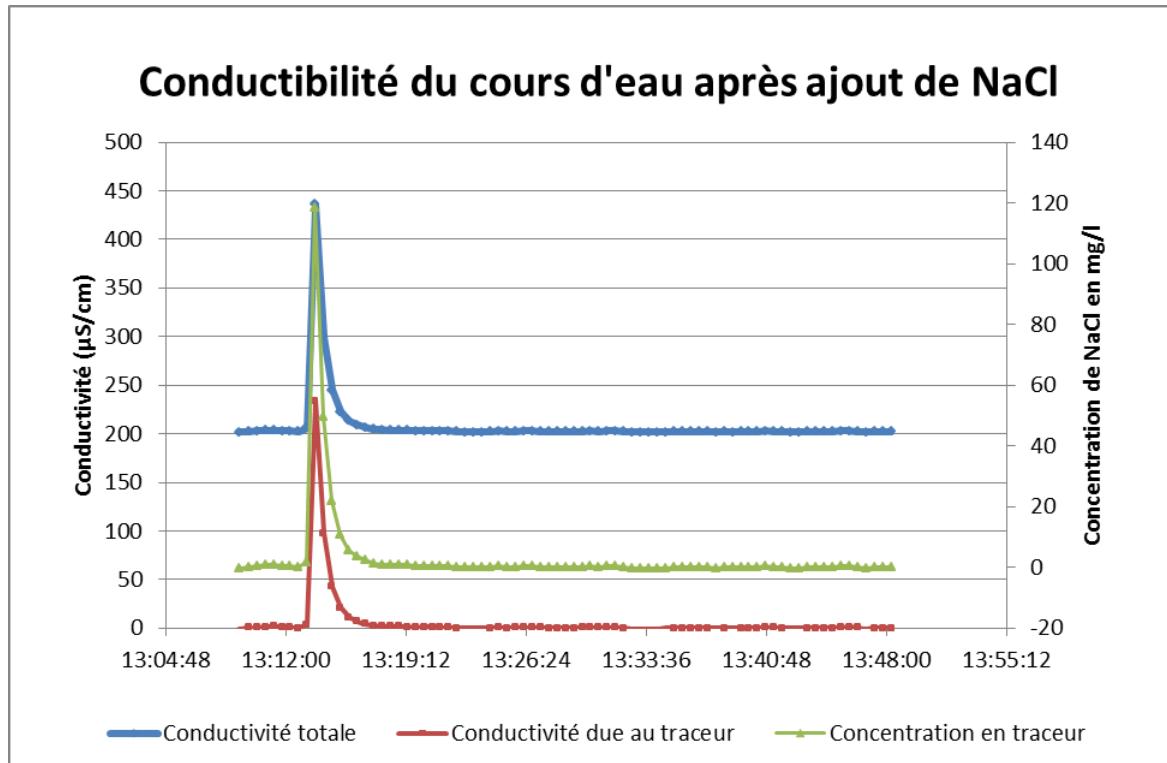
Quand la solution va passer au niveau de la sonde, la conductibilité du cours d'eau va augmenter. Les mesures seront arrêtées lorsqu'elle sera revenue à l'état initial. Les mesures obtenues sont ensuite traitées via le logiciel de bureautique « Excel ». Les résultats des mesures peuvent être consultés en annexe C, p V.

2.3.1.1.2 Méthodologie au bureau

Pour obtenir le débit, il faut réaliser une différence entre la valeur de conductibilité initiale du cours d'eau et la valeur obtenue après un pas de temps de 30 secondes. Répéter ensuite cette opération pour l'ensemble des valeurs. Cela permettra d'obtenir la différence de conductivité après un certain temps.

Ensuite, il faut utiliser les valeurs obtenues et les diviser par un facteur de conversion de 1,9758. (Compers 2017, DEBBAUT) De cette façon, il est possible d'exprimer la variation de conductivité entre deux pas de temps en une concentration de NaCl. Cette étape permet d'obtenir la concentration en traceur pour chaque pas de temps.

Une courbe peut ainsi être tracée. Celle-ci est visible en vert (concentration en traceur) dans le graphique suivant. Pour rappel, la conductibilité de départ était de $\pm 202 \mu\text{S/cm}$. De plus, la courbe bleue met en avant la conductibilité totale du cours d'eau après ajout du traceur et la courbe rouge la conductibilité du traceur.



Lorsque le chenal est régulier comme c'est le cas ici à la Figure 31, le pique sera assez régulier. Au contraire si le canal n'avait pas été régulier, en présentant des méandres par exemple, le pique aurait été dissymétrique.

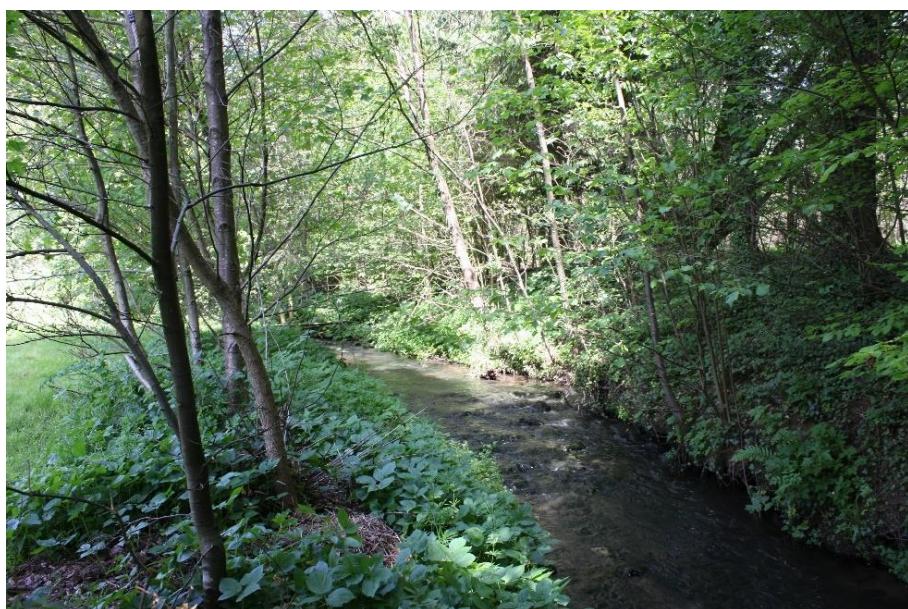


Figure 31: Cours d'eau avant le point de mesure

Pour avoir une idée du débit, il faut calculer la surface totale sous la courbe verte en faisant l'intégrale de celle-ci.

Pour y arriver, il faut calculer la surface de chaque trapèze et faire leur somme.

Équation 2: Calcul de l'air sous la courbe

$$A = 30 * (C_1 + C_2)/2$$

- 30 : pas de temps choisi
- C_1 : concentration du traceur
- C_2 : concentration du traceur un pas de temps plus tard

La somme obtenue est en $\text{mg}^* \text{s/l}$. Il faut donc diviser cette somme par 1000 pour convertir la réponse en $\text{g}^* \text{s/l}$. Il faudra ensuite diviser la quantité de traceur (741g) par cette valeur. La valeur obtenue est $0.1079 \text{ m}^3/\text{s}$

Ce débit correspond au débit du cours d'eau pour un instant T.

2.3.1.2 Exploration du champ de vitesse

Cette technique vise à calculer la vitesse d'écoulement en différents points du cours d'eau. Pour l'effectuer, il faut trouver une zone où le cours d'eau a un écoulement de préférence laminaire. Il faut également que la section du cours d'eau ait des profondeurs différentes. (Compers 2017, DEBBAUT) La localisation de l'endroit de mesure est visible à la Figure 32, p 45.

Dans notre cas, pour évaluer le débit, une sonde électromagnétique a été utilisée (de marque Marsh Birney). Concernant les sondes électromagnétiques, elles utilisent différents principes de mesure comme la loi d'induction de Faraday ou l'effet Doppler par exemple. (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2017)

Dans notre cas, la sonde utilise la loi d'induction de Faraday. Cette loi explique l'apparition d'une tension due à une force électromotrice induite. (Geandrot, 2016) La vitesse du fluide peut être connue par la tension qui en résulte. La tension est proportionnelle à celle-ci. Elle ne dépend en aucun cas des caractéristiques du fluide comme de sa conductibilité électrique. (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2017)

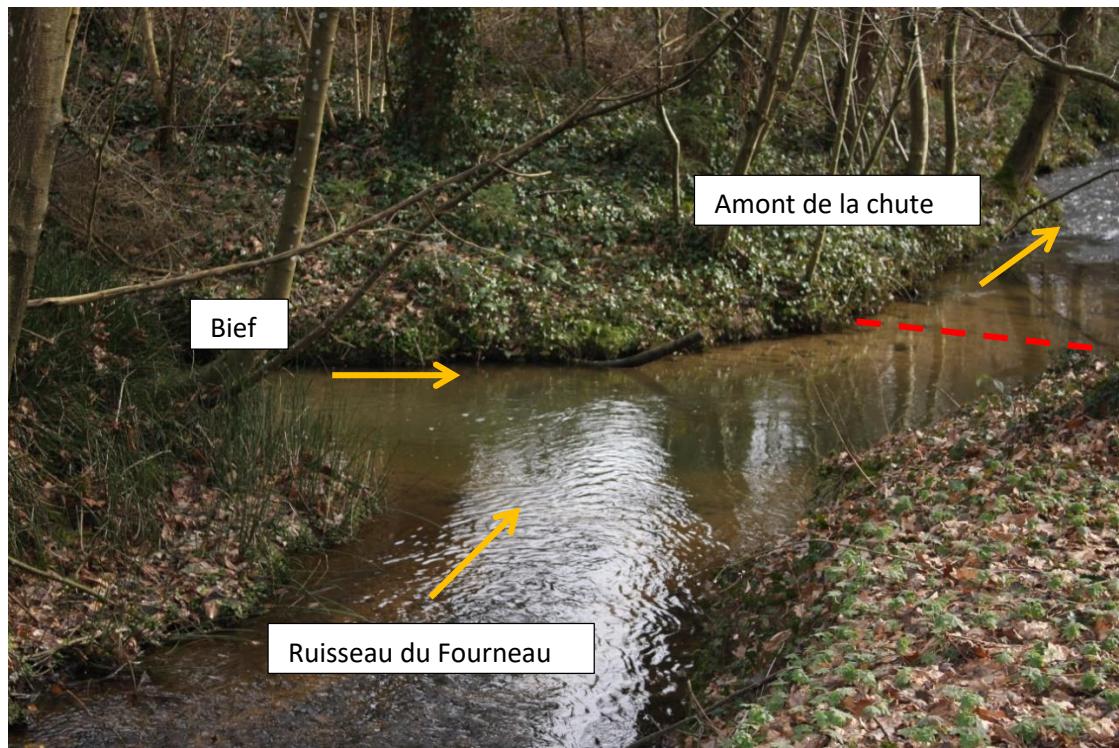


Figure 32: Localisation de l'endroit de mesure en pointillés rouges

2.3.1.2.1 Méthodologie sur le terrain

Dans un premier temps, il faut tendre un décamètre en travers du cours d'eau. Il faut ensuite mesurer la vitesse du cours d'eau à différentes profondeurs : du fond à la surface. Par cette méthode, nous allons avoir une vitesse caractérisée par des coordonnées (x, y).

- « X » fait référence à la position de la mesure par rapport à la berge gauche.
- « Y » fait référence à la position de la mesure par rapport au fond

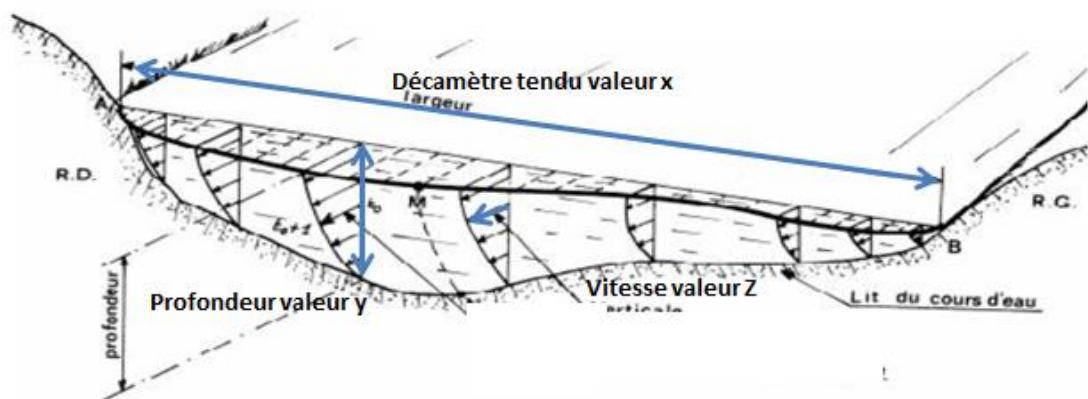


Figure 33: Exploration du champs de vitesse technique (modifiée) (Eaufrance, n.d.)

L'ensemble des vitesses obtenues et leurs coordonnées est repris dans un tableau en annexe C, p Vi.

2.3.1.2.2 Méthodologie au bureau

Les données obtenues ont été traitées via l'outil de bureautique « Excel ».

Dans un premier temps, il a fallu rajouter une ligne pour chaque différent « X ». La ligne comprend une valeur égale à 0 dans la colonne « Y » et la colonne « vitesse ». De cette manière, le fond du cours d'eau était caractérisé.

Ensuite, il a fallu réaliser une différence entre la hauteur maximum (« Y_{\max} ») du cours d'eau et l'ensemble des autres valeurs de hauteur (Y_n) pour un « X » donné. Ainsi, les valeurs exprimées ne donnent plus une hauteur d'eau mais bien une profondeur. Cela s'avérera utile par la suite pour faire ressortir le profil des vitesses.

Notons que la première mesure a été faite à 0,7 m (« X ») du point 0 cm du décamètre et non de la berge. La berge, quant à elle, est située à 0,25 m de la première mesure. Le décamètre n'a pas pu être placé exactement sur le bord du cours d'eau par manque de stabilité de celui-ci. Lors des calculs de « X », il faut donc retirer 0,45 m à chaque « X » pour avoir la bonne distance : berge-point de mesure. L'ensemble des données a été reconvertis en mètres.

Les résultats ont ensuite été traités via le logiciel « SUFER 6 ». Le logiciel en question va nous servir à modéliser nos mesures et à les exploiter. De plus, il va nous donner le débit de notre cours d'eau en interpolant nos valeurs.

Notons que, comme la plupart des logiciels de traitements de données, les espaces provoquent des erreurs. De plus, afin de séparer les nombres entiers des décimales, il faut utiliser le « point » et non la « virgule ». Pour terminer, le fichier doit être enregistré sous un format d'importation « sylk » avant de travailler avec le logiciel. L'ensemble des étapes détaillé dans ce logiciel est visible en annexe D, p VII.

Dans ce logiciel, nous allons créer un fichier grille (fichier. GRD). Ce type de fichier va permettre de représenter le champ de vitesse ainsi que de calculer le volume d'eau passant par seconde au niveau de la section du cours d'eau étudiée.

Le résultat obtenu pour le débit est visible dans le tableau ci-dessous. Le débit correspond au volume d'eau passant dans la section étudiée durant une seconde. Pour évaluer le volume de cette section, la méthode des trapèzes et la règle de Simpson (approximation d'ordre 2 de l'air sous notre courbe) ont été utilisées. La moyenne entre ces deux méthodes nous a permis d'obtenir le débit de 0,078 m^3/s .

Tableau 5: Informations et résultat de notre fichier grille

Résultats exportés du programme Surfer 6

X en m	0,25 à 2,65
Y en m	0,00 à 0,27
Z en m/s	0,00 à 0,29
Débit calculé m^3/s	0,078

Ce programme a permis de réaliser un graphique. Celui-ci représente la distribution des vitesses dans la section de cours d'eau étudiée. Les vitesses les plus faibles se trouvent logiquement au niveau du fond du cours d'eau mais également du côté des berges. A l'inverse, les vitesses les plus importantes sont situées au centre du cours d'eau vers la surface. La valeur « Y » égale à 0 représente la surface du cours d'eau.

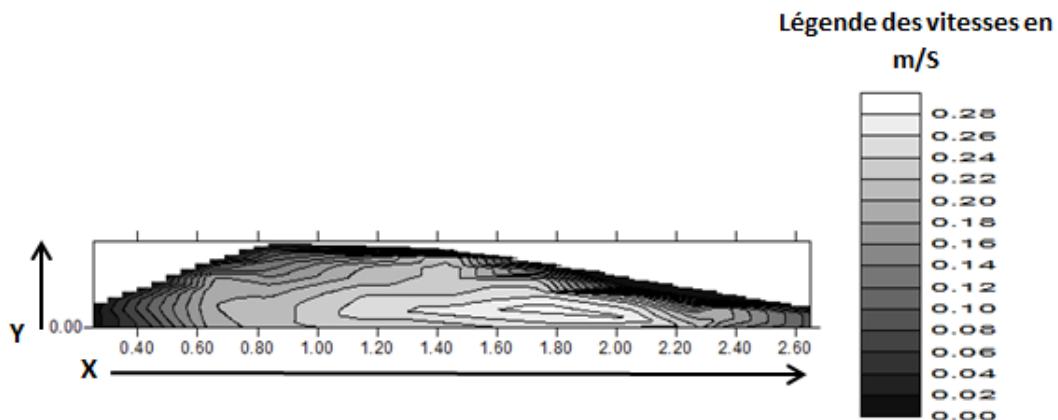


Figure 34: Profil de vitesse de la section du cours d'eau étudiée

2.3.1.3 Discussions

Les deux mesures de débit employées donnent des valeurs nettement différentes. En effet, la 1^{ère} méthode « jaugeage par dilution de traceur » donne une valeur de 0,1079 m³/s alors que la 2^{ème} méthode donne une valeur de 0,078 m³/s. Il y a donc une différence de 30 l/s.

Nous pensons que la 1^{ère} méthode est moins précise et qu'il vaut mieux se fier à la méthode utilisée pour la 2^{ème} mesure. Lorsque nous utilisons la méthode par traceur, il faut respecter plusieurs conditions afin d'avoir une donnée représentative. Cependant, celles-ci ne sont pas toutes dépendantes de l'opérateur. C'est notamment le cas pour celle de « bon mélange ». Il faut que le soluté se répartisse uniformément dans le cours d'eau. C'est-à-dire que la concentration du traceur soit homogène quel que soit l'endroit où la mesure est réalisée (Compers2017, DEBBAUT). Pour ce faire, il faut un écoulement torrentiel, et ce sur assez grande distance, pour s'assurer que la condition soit respectée. Cette mesure ne se prêterait donc pas à ce type de cours d'eau. Néanmoins, une idée aurait peut-être été de placer la sonde plus loin dans le lit du cours d'eau afin d'augmenter les chances de bon mélange. Une autre idée aurait été de diminuer le pas de temps afin d'avoir un changement de concentration moins brutale. De plus, il faut savoir que la technique par jaugeage par traceur est moins précise que la technique du champ de vitesse (Benoist & Birgand, 2002). Pour l'ensemble de ces raisons, il est donc préférable de choisir le débit évalué via la méthode « du champ de vitesse ».

D'ailleurs, par la suite, nous considérons le débit de 78 l/s pour nos calculs comment étant le débit moyen du cours d'eau. Pour rappel, le site est situé en tête de bassin et, par conséquent, le débit est assez faible (Compers 2017, D'Hernoncourt). De plus lorsque les mesures ont été effectuées (31 mars 2017), le cours d'eau n'avait plus reçu de précipitation depuis un bon mois. En outre, le cours d'eau est alimenté principalement par les nappes aquifères environnantes. L'ensemble de ces raisons nous font penser que ce débit reflète assez bien le débit moyen du cours d'eau.

Cependant, il faut être conscient que, durant de fortes pluies ou des saisons plus sèches, le débit va être directement influencé. L'idéal aurait été de réaliser une étude de débit sur une période de minimum un an afin de voir comment le régime du cours d'eau évolue en fonction des saisons. De plus, le temps nous était compté et nous n'avions pas, à notre disposition, d'appareil permettant d'évaluer le débit en continu.

2.3.2 Relevés topographiques

Les mesures ont été prises le 30 mars 2017 ainsi que le 17 mai 2017 grâce à un niveau et une mire inversée. Celles-ci seront ensuite replacées à échelle sur le logiciel « « Word » » à partir duquel différents profils ont été réalisés : profil en travers et profil en long.

Grâce à ceux-ci, il est possible de mieux appréhender le relief du cours d'eau. Cela s'avérera notamment utile pour réaliser le choix de la technologie adaptée au site ainsi qu'aux paramètres relevés : débit et hauteur de chute brute (différence de la hauteur d'eau en aval et en amont de celle-ci). L'ensemble de ces relevés va être complété par des photos du site afin de mieux visualiser les lieux de la-dite étude.

L'ensemble des mesures est repris en annexe E, p XIV et XV.

2.3.2.1 Méthodologie sur le terrain

Dans un premier temps, il faut placer le niveau en station. Cette station doit être choisie avec soin afin d'avoir un angle de vue de 360°. Le site présente de nombreux arbres en bordure de la rivière. Il n'est donc pas facile de trouver une station adaptée.



Figure 35: Lieu de la mise en station

Lorsque cette opération est effectuée, les mesures de relevés sont effectuées via deux opérateurs :

- Un **premier opérateur** se trouve à l'endroit de la mesure, et ce, en présence de la mire. Celui-ci doit tenir la mire de manière à ce que les plus grands numéros soient vers le haut.
- Le **deuxième opérateur** se trouve au niveau de la station afin de pouvoir effectuer, pour chaque mesure, un réglage d'horizontalité. Ensuite, il attribuera pour chaque mesure :
 - Un angle correspondant à l'angle entre la station et le point de mesure et
 - Différentes cotes (fil haut (FH), fil milieu (FM) et fil bas (FB)) observées sur la mire.

Des explications plus précises concernant les appareils utilisés ainsi que les mesures des relevés peuvent être consultées en annexe E, p X.

2.3.2.2 Méthodologie au bureau

Les données ont été encodées dans le logiciel Excel. Un point de référence a été choisi. Ce point sera replacé sur l'ensemble des profils ci-après où il sera noté « point 1 » et aura une hauteur de 0,00 m. Ainsi, il est possible de repositionner l'ensemble des points dans l'espace selon un certain angle et une certaine distance du niveau.

La distance entre la mire et le niveau peut être calculée via l'opération suivante :

Équation 3: Distance entre le niveau et la mire

$$Distance = (FH - FM) + (FB + FM)$$

- FH= Fil haut
- FM= Fil milieu
- FB= Fil bas

Quant à l'angle, il a été mesuré sur le terrain.

2.3.2.3 Résultats et discussions

Les différents profils peuvent être visualisés aux pages suivantes. Il est important de rappeler que les valeurs des cotes données pour le profil en long et en travers sont données à titre indicatif.

- Les **profils en long** vont permettre de visualiser, d'une manière générale, comment se présente la zone d'étude et ainsi nous aiguiller dans le choix de la technologie la plus adaptée en fonction des résultats obtenus.
- Les **profils en travers** sont focalisés sur la fosse. Grâce à ces profils, il sera aisément d'imaginer l'architecture de celle-ci, mais également d'estimer sa profondeur. Par ailleurs, la hauteur de l'eau est fort variable, le fond de cette dernière n'étant pas homogène. Les profils en travers permettent de visualiser la présence d'un muret. Celui-ci est probablement un vestige d'une installation ayant été construite pour casser les pierres lorsque les bas fourneaux étaient encore en activité.

De plus, lors des relevés topographiques, différentes mesures (31/03/2017) ont été relevées :

- Hauteur de chute brute (31/03/2017) : $\pm 0,6$ m
- Hauteur des berges (au niveau de la station de mesure) : $\pm 0,7$ m
- Largeur de la chute : 2,85 m
- Hauteur d'eau avant la chute : $\pm 0,07$ m
- Hauteur d'eau dans la fosse : ± 85 cm max

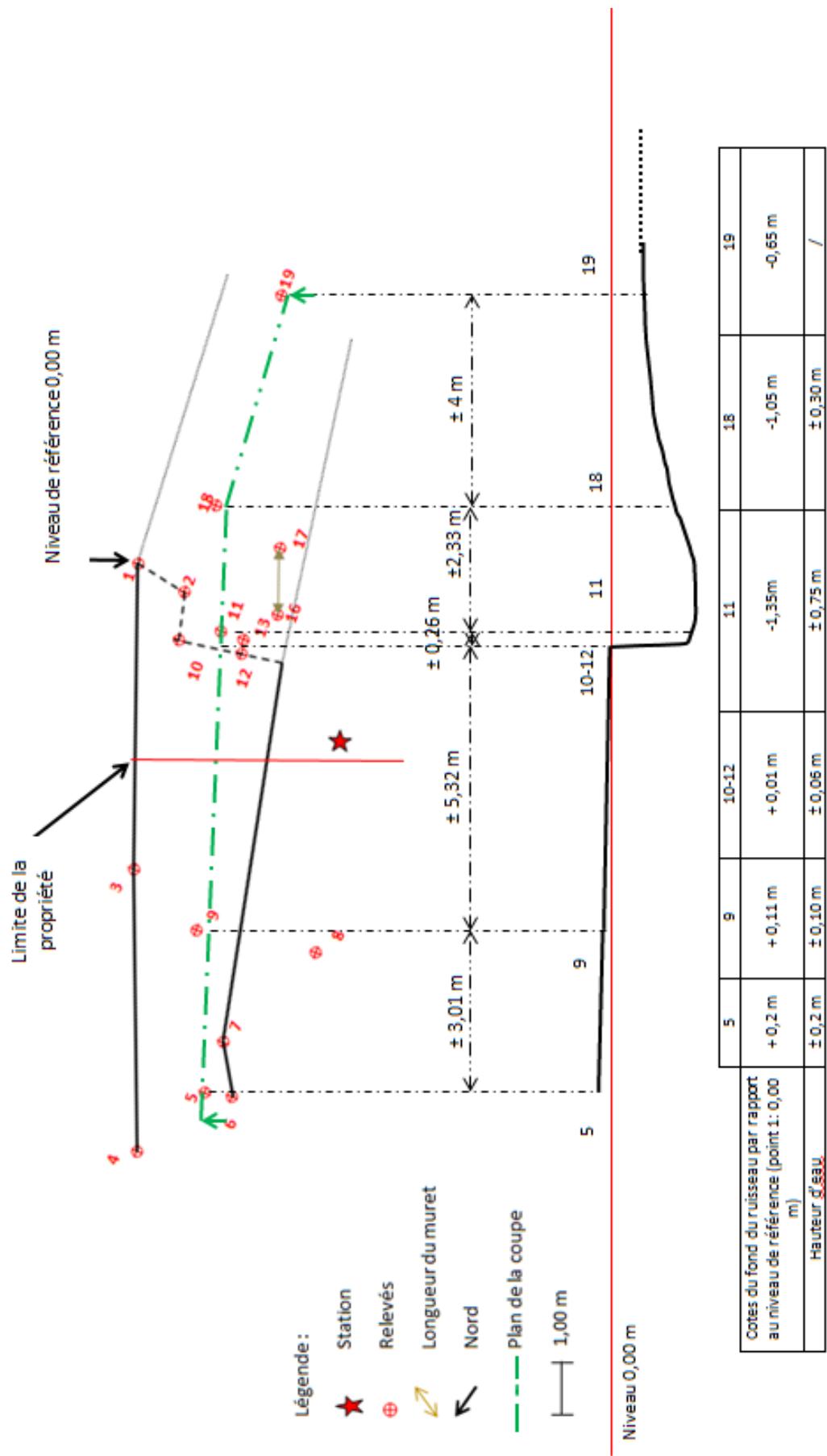


Figure 36: Profil en long en amont de la chute

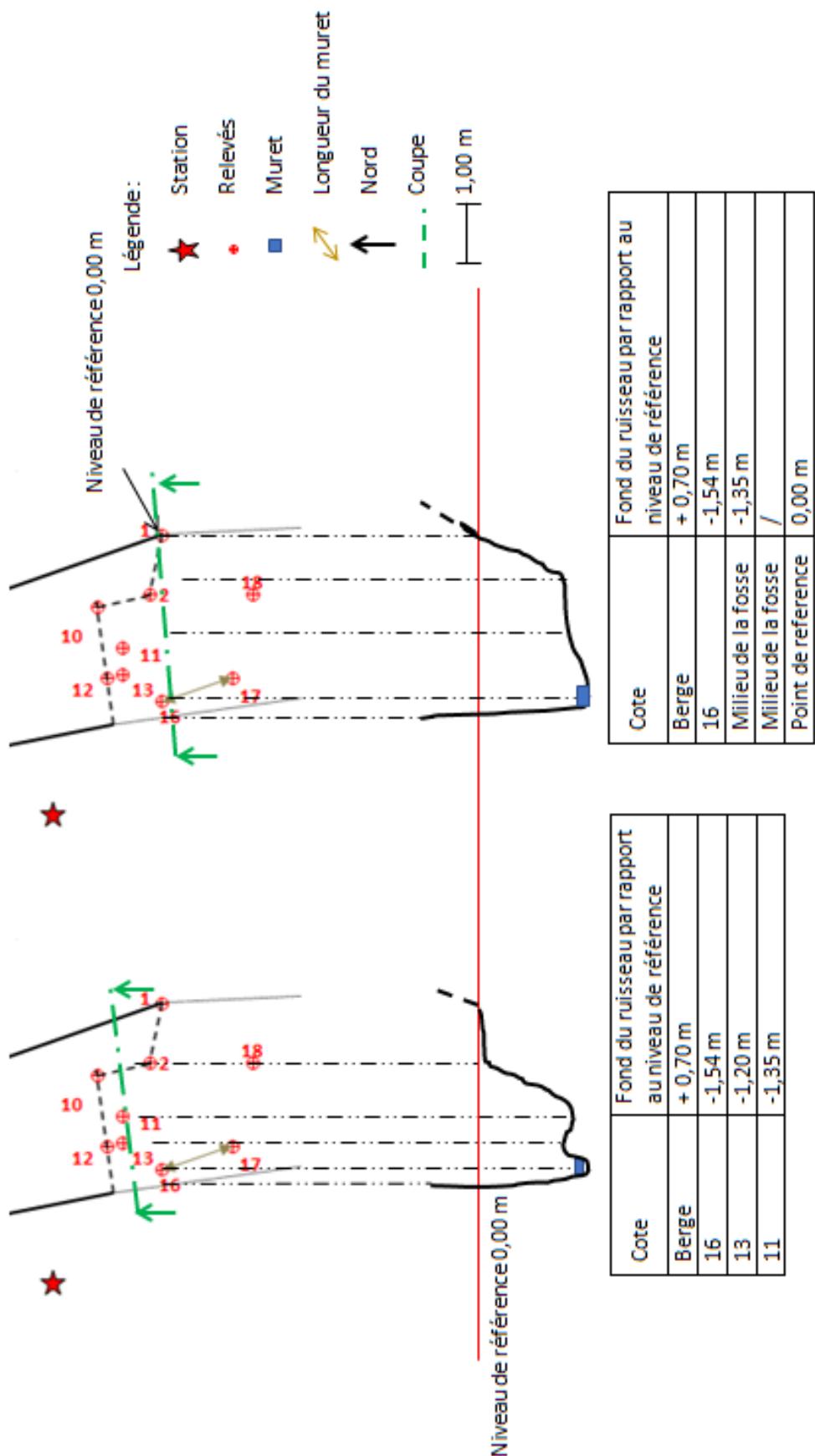


Figure 37: Profils en travers de la chute

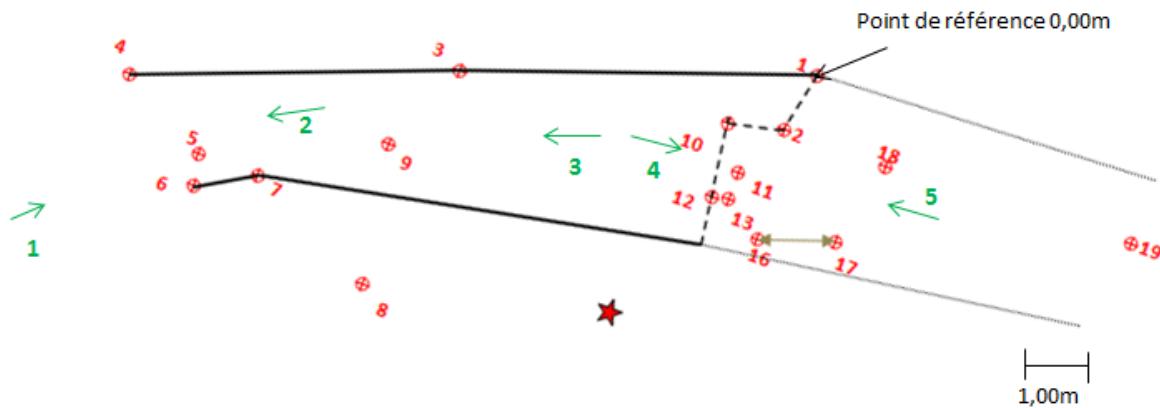


Figure 38: Prises de vue des photos

Les numéros en vert font référence aux photos pouvant être observées aux pages suivantes. Les flèches, quant à elles, permettent de visualiser l'angle de prise vue des différentes photos. Notons que les points sont positionnés plus ou moins à l'endroit où la photo a été prise. Sur les photos peuvent aussi être observés certains relevés.



Figure 39: Embouchure du bief et du ruisseau du fourneau

La photo 1 permet de visualiser l'embouchure entre le ruisseau du Fourneau et le bief.

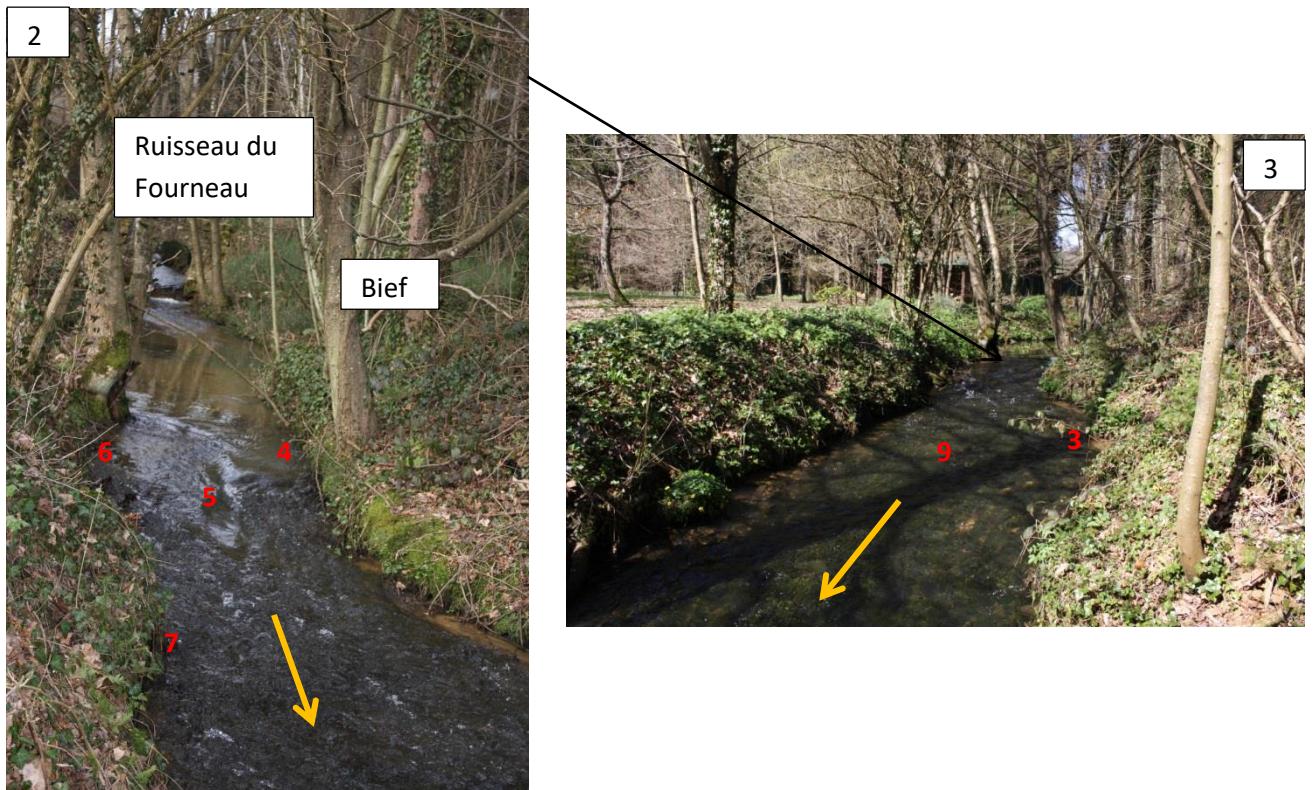


Figure 40: Aval de l'embouchure (2) et amont de la chute (3)

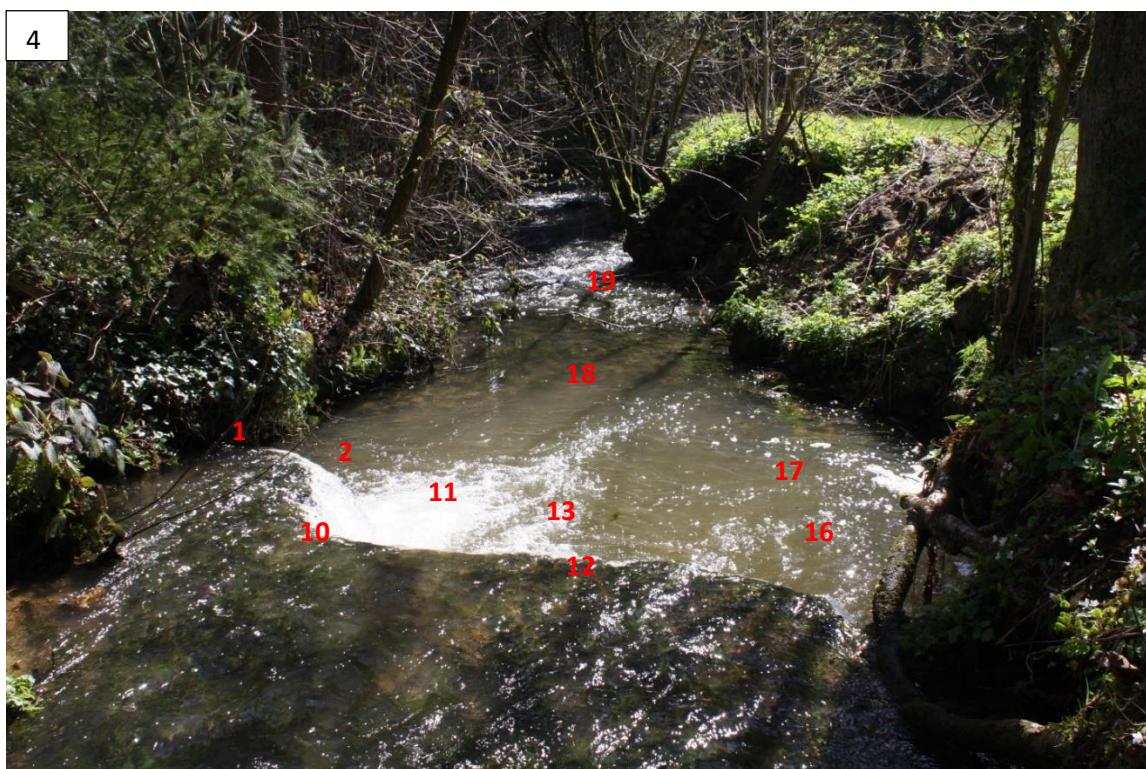


Figure 41: Amont de la chute

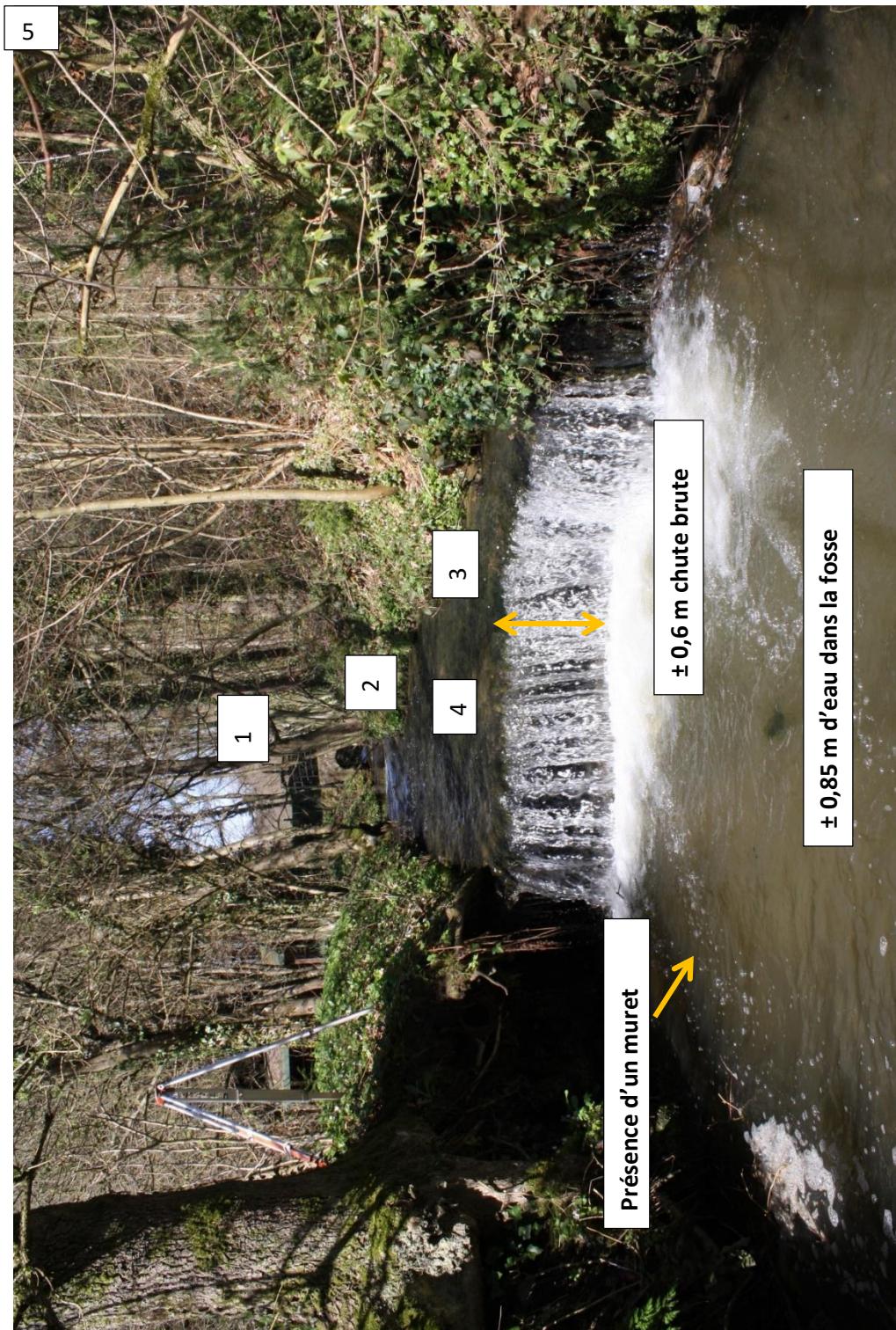


Figure 42: Chute

Les numéros 1 à 4 positionnent la prise de vue des photos. Sur la page suivante peut être visualisée la partie située en aval de la chute.

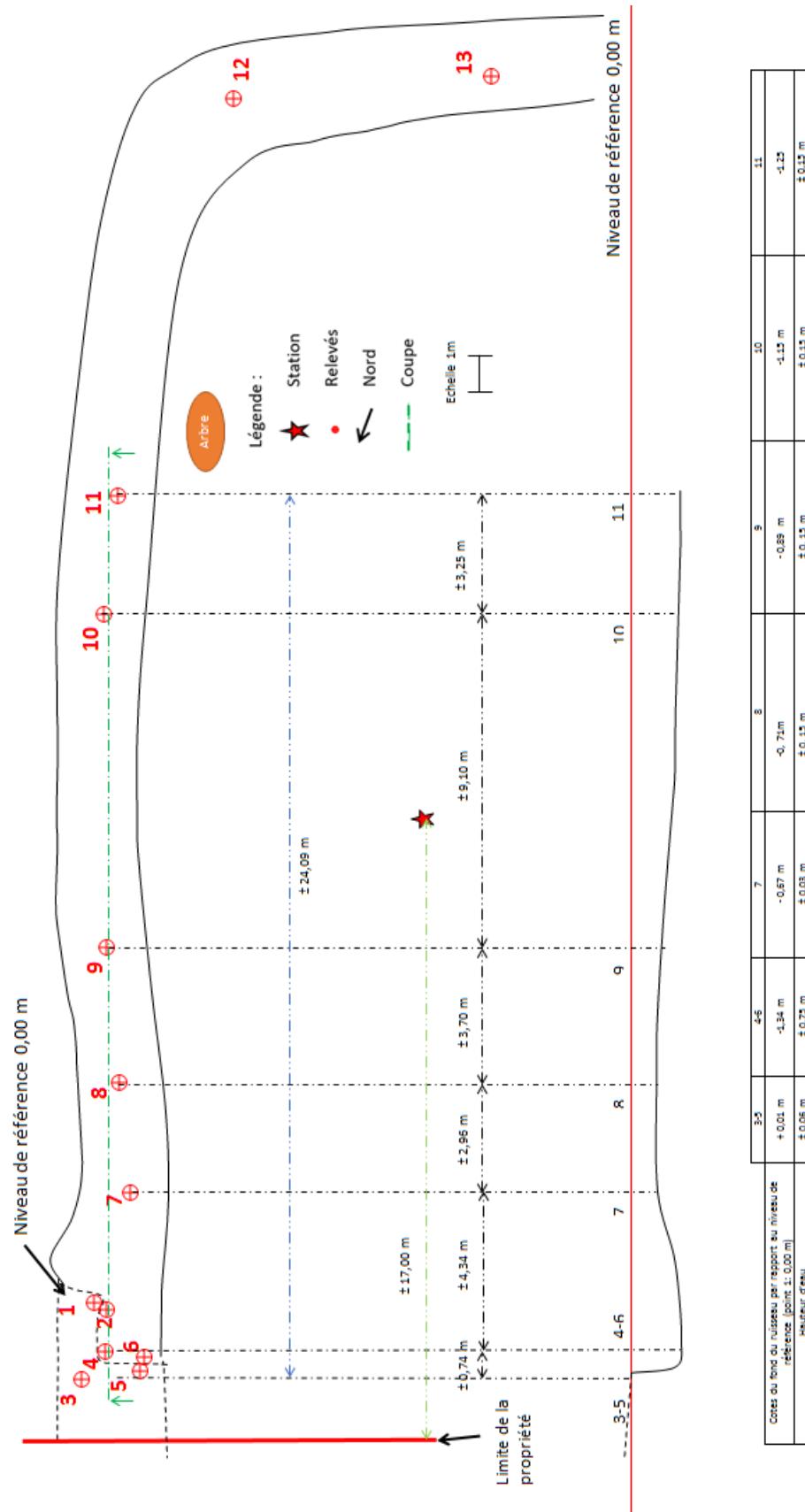


Figure 43: Profil en long en aval de la chute

2.3.3 Consommation électrique de l'habitation

Lors du choix de la technologie, il faut également prendre en compte la consommation électrique du ménage souhaitant exploiter un site hydraulique. Ainsi, si celle-ci s'avère élevée par rapport à la consommation d'un ménage moyen, il faut essayer de la réduire dans le but de dimensionner l'installation en fonction des besoins électriques réels de l'habitation.

Dans le cas présent, le propriétaire des lieux a une consommation annuelle pour l'année 2016 qui est plus élevée qu'en 2015. Cependant, aucune information n'a été apportée à ce sujet. En moyenne, cela représente environ 6923 kWh jour/nuit.

Tableau 6: Consommations du propriétaire de l'habitation

Consommations du propriétaire de l'habitation			
Tarif	Date de début	Date de fin	Consommations kWh
Jour	02/10/2014	01/09/2015	3008
Nuit	02/10/2014	01/09/2015	3445
Jour	01/09/2015	12/09/2016	3508
Nuit	01/09/2015	12/09/2016	3885

Cette consommation est importante. En effet, en Wallonie, un ménage moyen consomme environ 3500 à 4500 kWh par an (Callmepower, 2015).

Pour essayer d'avoir une meilleure compréhension de cette consommation élevée, une visite de l'habitation a été réalisée. Certains éléments pouvant expliquer une consommation importante ont notamment été relevés. Il s'agit d'appareils non pris en compte dans la moyenne de la Région Wallonne. En effet, le propriétaire de l'habitation possède un atelier où sont présentes différentes machines (ex : poste à souder, disqueuse, etc.). En outre, de nombreux appareils étaient en veille lors de la visite. Notons qu'il n'est pas facile d'évaluer la consommation réelle de chaque appareil en veille sans effectuer des mesures. Il en est de même pour les consommations électriques de l'atelier. Enfin, il semblerait que le congélateur situé à la cave ne fonctionne plus de manière optimale. Un congélateur défectueux peut entraîner une surconsommation 5 fois supérieure à un congélateur actuel labelisé A+++ (200 kWh par an). (Centre Urbain asbl, n.d.) Pour conclure, l'habitation en question n'est pas chauffée via un chauffage électrique.

En annexe F (page XVI) peuvent être consultées les consommations électriques annuelles de différents appareils ménagers. En outre, un tableau sur les consommations d'appareils en veille peut aussi être consulté.

L'ensemble de ces raisons peut donc expliquer cette consommation importante d'électricité. Pour les réduire, il serait probablement intéressant de changer le congélateur. Des mesures seraient notamment nécessaires. En outre, il faudrait éviter de laisser les appareils en veille. Une solution serait d'utiliser d'une multiprise à interrupteur.

2.3.4 Technologies et aménagements

Le choix de la technologie a été guidé par l'objectif de ce mémoire. Pour rappel, celui-ci était d'essayer d'assurer l'autonomie du particulier en produisant de l'électricité à partir d'une petite installation hydraulique. De plus, celle-ci doit être adaptée au site.

Le site d'étude possède un débit mesuré de $0,078 \text{ m}^3/\text{s}$ et une hauteur de chute brute $\pm 0,6 \text{ m}$.

2.3.4.1 Choix de la technologie

Les technologies immergées comme l'hydrolienne seront éliminées. En effet, pour fonctionner, une hydrolienne demande notamment une certaine hauteur d'eau. De plus, la vitesse de l'eau doit atteindre une certaine vitesse. Pour donner un exemple, l'hydrolienne domestique canadienne fonctionne à partir 60 cm d'eau et d'une vitesse d'écoulement de 1m/s. ("Une hydrolienne de rivière," 2016) Cette technologie a donc été abandonnée étant donné que la hauteur d'eau varie entre 5 et 20 cm. De plus, la vitesse maximale mesurée près de la chute est inférieure au mètre par seconde. Il est donc difficile, vu ces paramètres, de penser à utiliser cette technologie.

Il est également difficile de concevoir l'utilisation d'une vis hydraulique ou d'une roue à aubes eu égard aux paramètres du site. Comme nous l'avons vu dans la partie « généralités », les roues à aubes ainsi que les vis hydrauliques, bien que pouvant fonctionner sous des chutes peu importantes, demandent des débits assez conséquents. Il faut que le poids de l'eau soit suffisant pour entraîner ces différents mécanismes.

Néanmoins, le marché évolue et s'adapte. Désormais, il est possible de trouver des technologies pour les très basses chutes et des débits relativement faibles. Elles restent cependant peu nombreuses. En effet, il existe des turbines qui peuvent fonctionner sous des hauteurs de chute supérieure à 1,5 mètre. Elles acceptent également de faibles débits entre 30 et 60 l/s. Le rendement global¹² de ces turbines avoisine les 55 %. (Kelner, V ; Dachouffe & Duchesne, 2011) En outre, la technologie « Powerspout » possède différents modèles pouvant fonctionner à partir de 1 mètre de chute jusqu'à 5 mètres et des débits de 25 à 55 litres/s. Le rendement global de cette turbine est d'environ 55 %. Notons que ces turbines sont de types « Kaplan ». ("PowerSpout Turbines," 2017) &(Hydric, 2015b)

Enfin, il existe la technologie de « Turbiwatt ». Cette société bretonne a développé une petite turbine fonctionnant pour des hauteurs de chute de 1,2 à 2 mètres. Les débits pouvant être utilisés par celle-ci sont situés entre 50 à 70 l/s. Le rendement global annoncé est de 68 %. (Turbiwatt, 2017). La turbine a le générateur qui est inclus dans la structure. De plus, elle fournit un courant qui est directement compatible avec le réseau domestique (50 Hz et 230 volts). Par conséquent, un transformateur n'est pas nécessaire. Le constructeur précise également que la turbine a une durée de vie d'environ 100.000 heures. Après cette durée, les roulements ainsi que certaines pièces mécaniques doivent être remplacés.(Turbiwatt, n.d.-b)

¹² Le rendement global prend en compte, le rendement de la turbine ainsi que les autres systèmes électriques comme par exemple le générateur.(Unité TERM, 2003)

Le débit ne semble donc pas être un problème à l'inverse de la hauteur de chute. Plusieurs idées ont été émises pour essayer d'augmenter la hauteur de chute et ainsi atteindre la plage de fonctionnement des turbines sur le marché.

2.3.4.2 Aménagements envisagés

Une **première idée** était de mettre des vannages (Figure 44, p58) au niveau de la chute. Cependant, ce système n'aurait pas permis d'augmenter la hauteur de manière conséquente, environ quelques dizaines de centimètres. En effet, il ne faut pas perturber le bon écoulement du cours d'eau en augmentant trop la hauteur d'eau. Des risques de débordements sur certaines berges auraient pu survenir. De plus, par ce système, nous aurions ralenti le flux de l'eau et donc favoriser la sédimentation en amont de la chute. Enfin, le ralentissement de l'eau peut venir perturber l'oxygénation du cours d'eau (Compers 2017, D'Hernoncourt). L'ensemble de ces raisons a fait que cette solution a été abandonnée.



Figure 44: Vannage (Charrier, n.d.)

Une **deuxième idée** était d'exploiter la hauteur de chute au niveau de la fosse. Pour rappel, celle-ci était d'environ 1,5 m. Pour l'exploiter, il faut trouver le moyen de la vider de manière permanente en modifiant la structure du cours d'eau par la réalisation de travaux de génie civil lourd : il s'agirait de retirer, sur une distance d'environ 24 mètres, un certain volume de roche. Cela aurait permis de vider la fosse de son eau et ainsi augmenter la hauteur de chute. Cette opération aurait demandé des autorisations du gestionnaire du cours d'eau. De plus, un permis d'urbanisme serait requis (paragraphe 2.2.2 p28). Des recherches ont été entreprises concernant le prix de ce type de travaux. Notons que les entreprises réalisant des travaux sur les cours d'eau sont peu nombreuses, il est donc difficile de trouver des offres de prix et de les comparer. Et selon le bureau d'étude Merytherm aucune entreprise ne donnera des prix pour ce genre de travaux s'il apparaît que le projet n'est pas sûr d'être concrétisé. D'après le bureau d'étude, le montant pour ce type d'installation serait bien supérieur à 10 000 euros. (Com pers 2017, Merytherm) Enfin, ce type de travaux impacteraient inévitablement l'écosystème aquatique et l'équilibre de ce dernier.

Une **troisième solution** a été avancée pour augmenter cette hauteur. Celle-ci a été dégagée par le responsable du service des travaux de la commune de Saint-Léger lors de la prise de mesures le 17 mai 2017. C'est d'ailleurs celle-ci qui a été retenue.

Il s'agirait de profiter de la déclivité du cours d'eau. L'eau serait amenée d'assez loin via une sorte de ponton en bois pour créer une chute artificielle. D'ailleurs cette idée peut être visualisée ci-après à la Figure 48 page 62 et à la Figure 49 page 63 ci-dessous. Par cette méthode, nous évitons de toucher à la structure du cours d'eau et donc de perturber au maximum l'équilibre de l'écosystème aquatique. Ce type de projet demandera tout de même un permis d'urbanisme au niveau de la commune.

L'intérêt de cette idée réside aussi dans son aspect environnemental. En effet, la structure serait composée essentiellement de bois. Bien qu'elle nécessite des blocs de béton pour assurer la stabilité de l'ouvrage, elle pourra vite être démontée. Nous pouvons imaginer que la structure se ferait via du bois labelisé développement durable. Ainsi la structure aura une empreinte sur l'environnement limitée. Quant à l'impact visuel, il serait réduit. En effet, la structure étant située à environ 60 mètres de la route ne serait pas visible des riverains. De plus, la végétation est dense autour du ruisseau et pourrait donc la camoufler en partie.

Pour conclure, bien que la législation n'impose pas, pour ce type de cours d'eau, d'ouvrage spécifique pour la montaison et la dévalaison des poissons, le long de la structure serait aménagé un petit canal pour permettre aux poissons d'effectuer leur migration de l'aval vers l'amont. Il serait également réalisé en bois labelisé. Pour son aspect écologique, cette idée a donc été privilégiée. D'ailleurs, il semblerait que celle-ci soit déjà utilisée dans d'autres pays.



Figure 45: Ponton en bois amenant l'eau aux turbines (PowerSpout, 2017)

En théorie, par cette méthode, une chute brute théorique d'environ 1,20 m (hauteur de la situation actuelle) pourrait être créée. En effet, il est mal aisé d'estimer comment la hauteur d'eau va fluctuer dans le cours d'eau si 90% du débit calculé (10% réservé) est dévié via l'ouvrage hydraulique.

2.3.4.3 Discussions

A ce stade, le débit est de 0,078 m³/s et la hauteur de chute brute théorique de 1,20 m. Cette hauteur a été calculée sur base des relevés topographiques. En outre, elle tient également compte de la hauteur d'eau en aval et en amont au moment de la mesure.

Il y a donc deux technologies qui peuvent fonctionner dans cette plage. La turbine « Tubiwatt Lynx » (technologie bretonne) et la turbine « PowerSpout LH Pro » (technologie de Nouvelle Zélande). D'après des recherches effectuées au niveau d'internet, il semblerait qu'aucune de ces turbines ne soient implantées en Belgique.

Le tableau ci-dessous met en avant quelques caractéristiques de ces technologies :

Tableau 7: Caractéristiques de technologies envisagées (Hydric, 2015b), (Hydric, 2015a), (Turbiwatt, 2015) & (Turbiwatt, 2017)

	Trubiwatt Lynx »	« PowerSpout LH Pro »
Chute nette	1,2 à 2 m	1 à 5m
Débit	50 à 70 l/s	25 à 55 l/s
Rendement global	68 %	55 %
Générateur intégré	Oui	Oui
Prix	2772 euros	2793 euros

Notons que le prix des turbines inclut la TVA. De plus, pour la turbine « Lynx », le boitier de régulation ainsi que son cône d'aspiration sont compris dans le prix.

Dans le cas de la Turbine « PowerSpout LH Pro », un onduleur est requis afin d'être compatible avec le réseau belge. De ce fait, il faut tenir compte du prix de ce dernier en plus celle-ci. En outre, le tableau met en avant certaines caractéristiques importantes pour effectuer le choix de la turbine. Bien que la turbine « PowerSpout LH Pro » puisse fonctionner sur ce site, elle possède un rendement plus faible que la turbine LYNX. Enfin, le prix de la « PowerSpout LH Pro » est plus élevé que la turbine Lynx alors que l'efficacité est moindre.

Pour l'ensemble de ces raisons, le choix de la technologie s'est donc porté sur la turbine Lynx.

Afin de fonctionner dans des conditions optimales, la turbine Lynx doit être placée dans une chambre d'eau contenant au moins 10 fois le volume turbiné. De plus, celle-ci doit être immergée sous 40 cm d'eau pour éviter les problèmes de vortex. Pour résoudre les problèmes de cavitation, le tuyau d'évacuation d'eau de la turbine doit être placé sous 10 cm d'eau. (Turbiwatt, 2017) A la page suivante, peut être visualisé le placement de la turbine Lynx (Figure 47). Une grille est posée avant la chambre d'eau afin de caller tous objets qui pourraient endommager la turbine.



Figure 46: Turbine Lynx (Turbiwatt, 2009b)

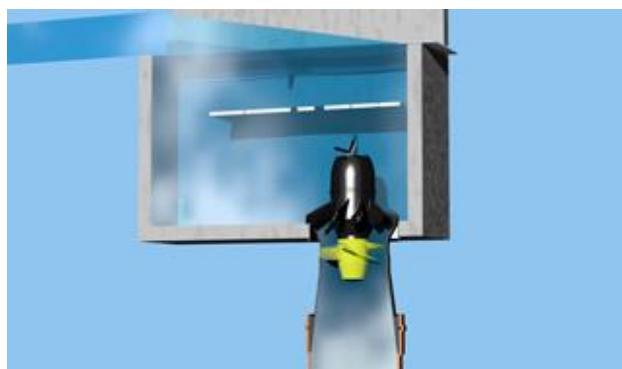


Figure 47: Placement de la turbine Lynx (Turbiwatt, 2009a)

Avant de terminer cette partie, Monsieur Rutten, du bureau d'étude Merytherm, nous a fourni un complément d'informations sur la picoturbine Lynx. Celui-ci, durant son mémoire, a réalisé des tests sur la-dite machine dans le but de fixer sa limite de fonctionnement. Il conclut que la machine peut fonctionner couplée au réseau à partir d'une faible chute nette (50-70cm). Le rendement de l'installation tourne alors vers les 40 %. A partir d'un mètre de chute, le rendement est d'environ 68 %. C'est d'ailleurs ce rendement qui est annoncé par la société. Lorsque la chute nette est de 2.1 m, la roue en plastique casse. Notons que le banc d'essai réalisé pour l'étude n'était pas idéal pour la basse chute selon Monsieur Rutten. Celle-ci a été faite avec le matériel disponible sur place. En outre, il explique que si la turbine n'est pas connectée au réseau, elle devrait pouvoir démarrer avec une chute plus faible dans le cas où elle est immergée suffisamment. (Compers 2017, Bureau d'étude Merytherm)

Signalons également que les anciens sites de moulins réhabilités en province de Luxembourg ne présentent pas des caractéristiques similaires au lieu d'étude (voir annexe G, p XIX). Aucune comparaison ne peut donc être établie que ce soit au niveau des impacts engendrés sur le cours d'eau ou sur la faisabilité du projet. Cette information a été obtenue par les facilitateurs hydroélectricités.

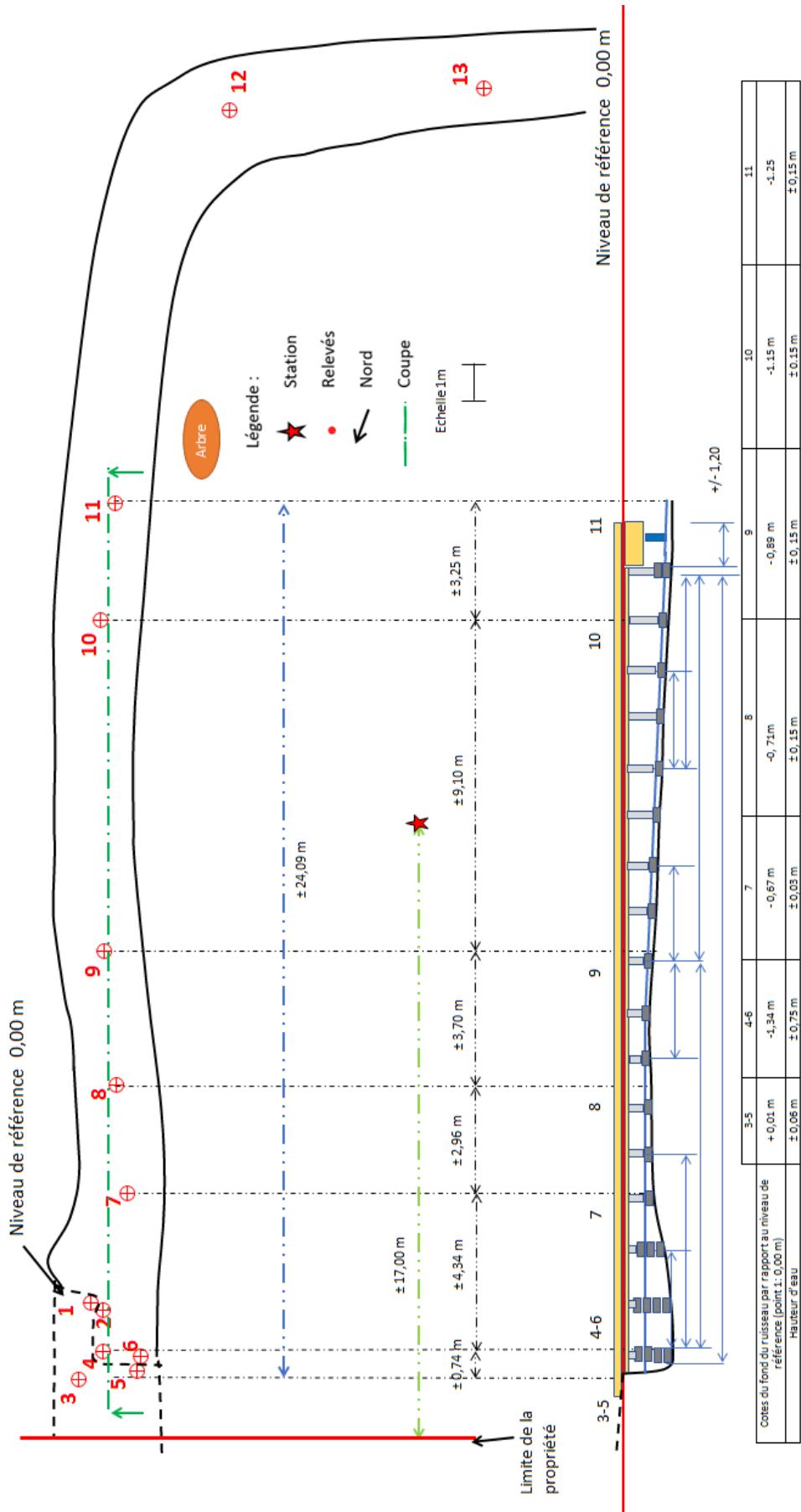


Figure 48: Aval de la chute et plan à titre indicatif de la structure de génie civil

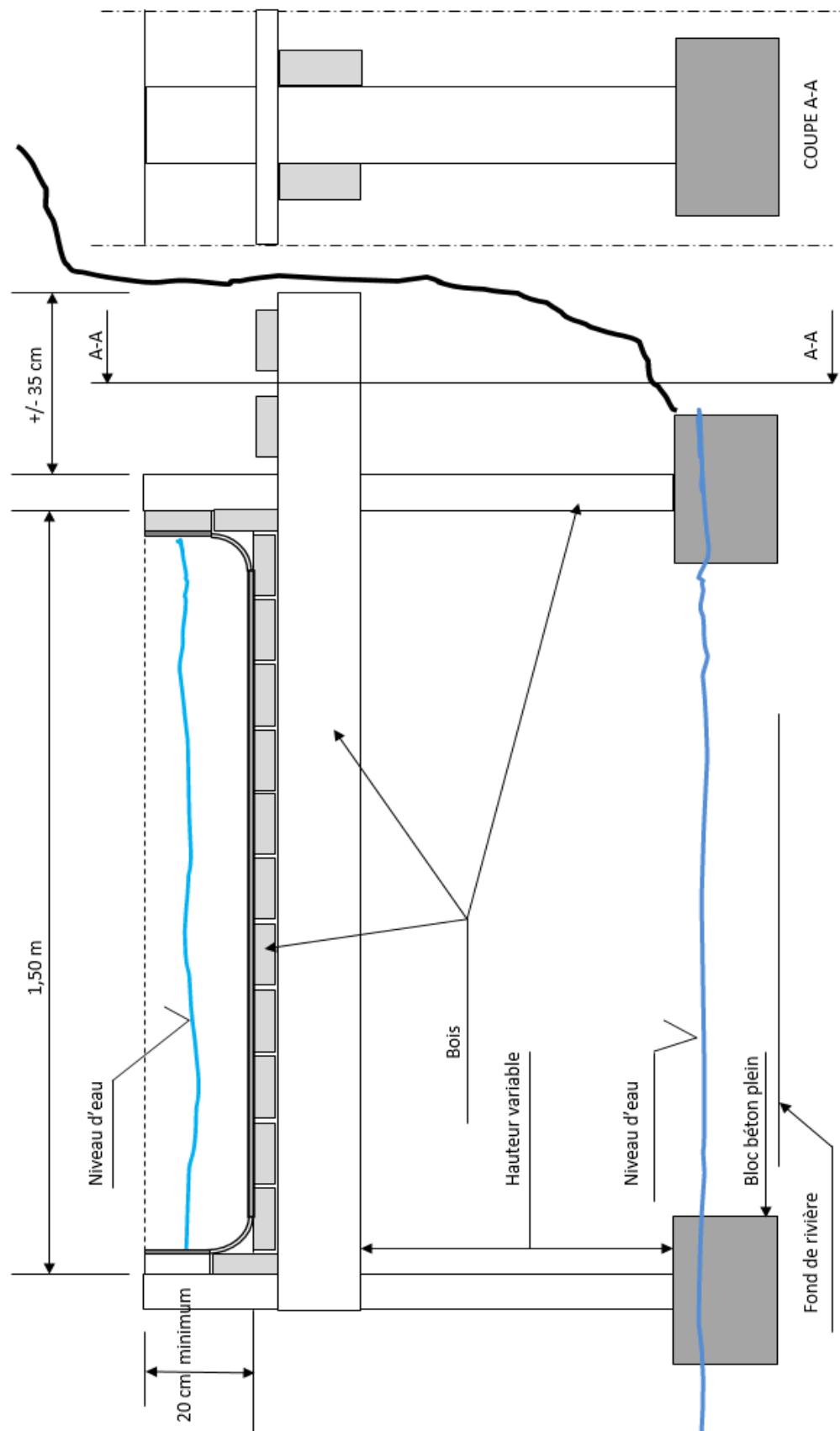


Figure 49: Coupe transversale du ponton afin de visualiser le principe (schéma de principe)

2.3.5 Estimation du potentiel énergétique

Dans un premier temps, le potentiel hydraulique du site a été évalué sans les aménagements.

Pour évaluer le potentiel du site, il faut appliquer la formule suivante :

Équation 4: Puissances hydrauliques

$$P_{hydraulique} = H * Q_{turbiné} * 9,81 * \rho$$

- Puissance hydraulique en watts ou en kilowatts
- H : Hauteur de chute brute en m
- Q : débit turbiné en m³/s
- ρ : 1000 kg/m³

(PACER, 1995)

Pour rappel, 90 %¹³ du débit « moyen » peuvent être turbinés. Celui-ci représente 0,078 m³/s (débit calculé de manière instantanée par manque de données). La hauteur de chute mesurée est de 0,6 m. Cela équivaut à une puissance de ± 413 watts. Un rendement de 100 % a été considéré. Cependant, aucune technologie à ce jour ne peut exploiter un site hydraulique avec ces paramètres. Néanmoins, grâce aux aménagements réalisés, une hauteur de chute suffisante peut être atteinte. La puissance hydraulique serait doublée.

Afin d'évaluer, avec précision, le potentiel électrique du site, il faut également prendre en compte le rendement de l'installation mais aussi les pertes de charges hydrauliques. Selon les facilitateurs, il faut retirer 0,25 m à la hauteur mesurée sur le terrain pour prendre en compte les pertes de charges (APERe, 2016). Ils précisent que cette valeur est conservatrice et permet de ne pas surévaluer le site. Une autre source dit qu'il faut diminuer la hauteur brute de 7,5% (Unité TERM, 2003). Ces deux valeurs seront prises en compte. En outre, une moyenne sera réalisée entre celles-ci. Ainsi, le potentiel du site sera évalué en fonction de ces différentes hypothèses.

Équation 5: Puissance électrique

$$P_{électrique} = H_n * Q_{turbiné} * 9,81 * \eta_{global}$$

- Puissance électrique en kilowatt
- H_n : hauteur de chute nette en m (hauteur brute moins les pertes de charge)
- Q_{turbiné} : débit pouvant être turbiné par l'installation en m³/s
- η_{global} : prend en compte le rendement de la turbine mais également du générateur et des autres systèmes électriques.

(APERe, 2016)

¹³ La législation impose de laisser 10 % du débit du cours d'eau afin de préserver la vie aquatique mais aussi en terme de respect pour les autres usagers du cours d'eau. Pour plus de précision à ce sujet, il faut consulter le paragraphe 2.2.2 page 28. (Facilitateur hydroélectrique (APERe Asbl), 2014)

Équation 6: Energie électrique

$$E_{\text{electrique}} = P_{\text{electrique}} * \text{Durée}$$

- $E_{\text{electrique}}$ en kWh
- $P_{\text{electrique}}$ en kW
- Durée : fonctionnement à puissance nominale

(APERe, 2016)

2.3.5.1 Hypothèses

Pour réaliser les différents calculs et ainsi construire des graphiques, différentes hypothèses ont été prises en compte. Elles nous ont permis ainsi d'obtenir une plage de production assez large.

1. **La chute nette (H_n)** prend en compte les pertes de charges localisées et d'amenées. A ce propos, il est difficile de pouvoir calculer ces pertes de manière précise sans connaître la vitesse exacte de l'écoulement ni la hauteur avec les aménagements prévues.
 - $H_n = H_b - 0,25 \text{ m}$ (APERe, 2016)
 - $H_n = H_b * 0,925$ (Unité TERM, 2003)
 - $H_n = H_b - 0,17 \text{ m}$ (moyenne des 2 autres méthodes)
2. **Rendement du système** : 68 %
3. **Plage de fonctionnement de la turbine LYNX** : 0.05-0,07 m^3/s
4. **Heures de fonctionnement à puissance nominale** :
 - Apere considère que, pour estimer le potentiel d'un site hydraulique, une valeur de 4000 heures peut être prise en compte. (APERe, 2016) Cette durée correspond à 45,6 % de l'année.
 - Selon les caractéristiques de notre site, Madame D'Hernoncourt explique que la turbine pourrait fonctionner environ 6500 heures, ce qui correspond à environ 74 % de l'année. Nombre d'heures qui semble être le plus réaliste.
 - A l'inverse, le fournisseur Turbiwatt explique que sa turbine peut fonctionner toute l'année. Néanmoins, par soucis de sécurité, la valeur de 7884 heures a été utilisée. Cela correspond à 90 % du temps de l'année.

(Turbiwatt, 2009b), (Turbiwatt, n.d.-c) & (Hydric, 2015b)

Précisons que nous allons évaluer la production de la turbine en se focalisant sur sa plage de fonctionnement. Néanmoins, notre chute nette sera inférieure à celle annoncée par le constructeur. Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus par le bureau d'étude Merytherm. Selon moi prendre un rendement de 68 % pour l'ensemble des calculs peut être considéré comme correct si nous nous référons aux résultats obtenus par le bureau d'étude.

Tableau 8: Résultats d'essais lors que la turbine lynx est connecté au réseau

$Q \text{ m}^3/\text{s}$	$H_n \text{ (m)}$	P_{hydro}	P_{gen}	η
0,0483	0,96	455	295	65 %
0,0500	1,04	510	350	69 %
0,0517	1,2	608	440	72 %

2.3.5.2 Résultats

Afin de faire ressortir les résultats, 3 cas ont été considérés : le plus défavorable, l'intermédiaire et le moins défavorable. Grâce à ceux-ci, il est possible de visualiser ainsi la plage de puissance électrique pouvant être attendue par la turbine en fonction des différentes hypothèses prises sur le débit turbiné et la hauteur de chute nette.

Tableau 9: Puissances électriques obtenues selon les 3 cas

	Hauteur de chute nette en m	Débit turbiné en m ³ /s	Gravité en m/s ²	Rendement global de l'installation	Puissance électrique en watts
Cas défavorable	0,95	0,05	9,81	0,68	± 317
Cas intermédiaire	1,03	0,06	9,81	0,68	± 412
Cas favorable	1,11	0,07	9,81	0,68	± 518

La puissance électrique de la pico-turbine tournerait entre 317 watts et 518 watts. En moyenne, cela équivaut à une puissance électrique d'environ 418 watts.

Il est également possible de faire ressortir l'énergie électrique pouvant être fournie par l'ouvrage hydraulique en fonction de la durée de fonctionnement considérée.

- **Cas défavorable** : $317 \text{ watts} * 4000 \text{ heures} = \pm 1267 \text{ kWh}$
- **Cas intermédiaire** : $412 \text{ watts} * 6500 \text{ heures} = \pm 2680 \text{ kWh}$
- **Cas favorable** : $518 \text{ watts} * 7884 \text{ heures} = \pm 4086 \text{ kWh}$

2.3.5.3 Discussions

En théorie, si nous considérons que la consommation des années à venir reste identique à la moyenne de 2015/2016, 6923 kWh, le propriétaire peut espérer couvrir 59 % de ses besoins au maximum et 18 % au minimum. A l'inverse, si nous considérons le cas le plus optimiste et que ce dernier arrive à se rapprocher d'une consommation d'un ménage moyen, il pourrait assurer son autonomie énergétique. Précisons que toute l'électricité ne sera pas directement autoconsommée et qu'une partie devra être renvoyée sur le réseau.

A ce propos, à l'heure actuelle, les installations ayant une puissance installée inférieure à 10 kW bénéficient du mécanisme de compensation : « compteur tournant à l'envers ». Le propriétaire en question peut donc renvoyer son surplus de production lorsqu'il n'en a pas d'utilité. De plus, le raccordement au réseau est gratuit (Facilitateur hydroélectrique (APERE Asbl), 2014) et aucune taxe n'est prévue pour les personnes ayant une petite installation hydroélectrique et qui renvoient une partie de leur électricité non consommée sur le réseau. Si cette filière se développe, il est donc possible qu'une taxe soit mise en place comme ce sera bientôt pour la filière photovoltaïque. Celle-ci jouerait inévitablement un rôle sur le retour sur investissement de l'installation. Cette partie est d'ailleurs abordée ci-après.

2.3.6 Estimation du temps de retour sur investissement

Avant de conclure ce travail, il est primordial d'évaluer le temps de retour sur investissement. C'est une étape clé pour mettre en avant la rentabilité du projet. Préalablement, une estimation des coûts de ce dernier a été réalisée. Les hypothèses prises pour évaluer le temps de retour seront exposées également. Enfin, après une exploitation du site durant 25 ans, les recettes dégagées seront mises en avant.

2.3.6.1 Capex du projet

Celui-ci s'intéresse à l'ensemble des dépenses dues à l'investissement. (Maverick, 2017)

Chaque site est différent. Les aménagements envisagés et les équipements requis vont donc différer. De ce fait, il n'est pas aisé d'évaluer le coût réel d'un projet.

Dans le cas présent, différentes hypothèses ont été prises. Celles-ci avaient pour but d'estimer le plus consciencieusement possible l'investissement.

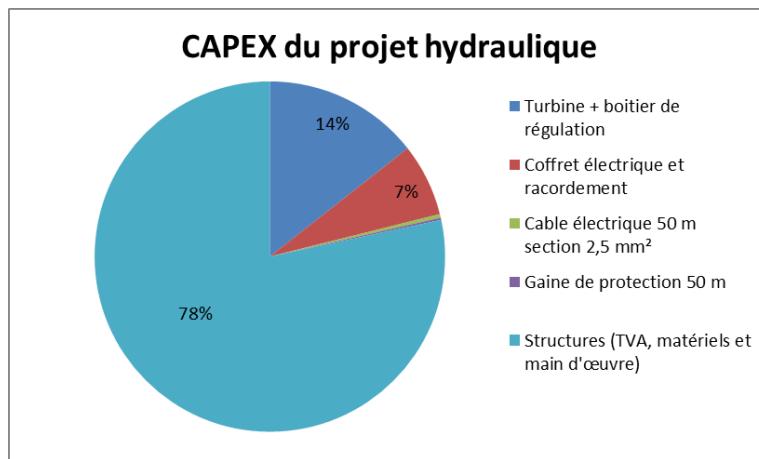


Figure 50: Capex du projet hydraulique

Le montant estimé s'élève à environ 20 000 euros TVAC. Il a été évalué suivant différentes hypothèses que voici :

- **Structure +TVA :**
 - Le *matériel utilisé* pour construire le ponton en bois. Un prix de 1500 euros/m³ de bois a été considéré. Le volume de bois utilisé avoisinerait les 3,3 m³. Cela en considérant 10 % de chute de bois. (Carlier Bois, 2017). Soit près de 5000 euros.
 - Accessoires (vis, écrous, boulons, etc.), bloc béton et traitement du bois : ± 4 550 euros
 - *Main d'œuvre* : 500 euros/semaine par homme. Soit environ 4500 euros.
- **Turbine + boîtier de régulation + TVA :** prix obtenu par le bureau d'étude 2792 euros (Turbiwatt, 2015). Ce prix ne prend pas en compte la livraison de la machine.
- **Câble électrique de 50 m avec une section minimum de 2,5 mm² :** 65 euros (BRICO, 2017)
- **Gaine de protection pour le câble électrique (50 m) :** 40 euros (AMAZON, 2017)

- **Pose d'un coffret électrique :** 1300 euros. Cela comprend le raccordement, les fusibles, le différentiel, ... Une moyenne a été réalisée en fonction des prix annoncés entre 600 et 2000 euros. (“Prix de pose d'un tableau électrique,” 2017)

Bien que ce prix reste une estimation, l'aménagement de la structure a un impact significatif sur l'investissement.

Notons que le propriétaire des lieux est prêt à réaliser lui-même une partie des travaux et notamment la tranchée pour poser la gaine et les câbles électriques. Cela n'a donc pas été pris en compte.

Concernant l'OPEX du projet, il est considéré comme nul. Ce dernier reprend l'ensemble des dépenses dû à l'exploitation du projet. (Maverick, 2017) L'entretien ainsi que la vérification du matériel seront effectués par le propriétaire. En ce qui concerne la turbine, elle ne doit pas subir de changement de pièces avant 100 000 heures. Cependant, en fonction de la qualité de l'eau, certaines pièces plastiques peuvent être à remplacer au bout de quelques années (Turbiwatt, n.d.-d).

2.3.6.2 Hypothèses

Afin d'évaluer les recettes du projet ainsi que le temps de retour sur investissement, quelques hypothèses ont été posées. Celles-ci se basent sur des données théoriques et les estimations réalisées préalablement.

Tableau 10: Données de base pour l'estimation du temps de retour financier

Informations	
Durée de vie de la turbine	100 000 heures
Investissements	20 000 euros
CV par MWh	2,5
Prix du CV	65 euros
Durée d'octroi des CV	15 ans
Coût de l'électricité MWh	250 euros
Taux d'actualisation de l'argent	3 %
Indexation de l'électricité	2 %

La durée de vie considérée pour le projet est de 25 ans maximum. Elle va dépendre du temps de fonctionnement annuel de la turbine. Celui-ci varie en fonction des 3 cas évalués (défavorable, intermédiaire, favorable), le remplacement de pièce se fera donc plus ou moins rapidement.

L'investissement, quant à lui, a été évalué selon nos hypothèses. Il est supposé qu'aucun n'emprunt ne sera contracté et que le propriétaire financera l'entièreté du projet.

Un prix moyen (tarifs jour/nuit confondus) de $\pm 0,25\text{€}/\text{kWh}$ a été utilisé pour l'électricité. A l'heure actuelle, c'est le prix estimé en Province du Luxembourg (Compers 2017, Andrianne).

Le taux d'indexation (inflation comprise) de l'électricité ainsi que le taux d'actualisation de l'argent proviennent du simulateur financier créé par Apere. (APERe, n.d.) Le taux d'actualisation va refléter le coût du capital. Il va ainsi permettre de comparer différents flux financiers se produisant à des dates différentes et de les comparer à ce jour. Ces deux données ont été supposées constantes tout au long de l'exploitation du site.

Pour ce qui est du prix du CV, la valeur minimum de 65 euros a été choisie. Cela permet de ne pas surestimer la rentabilité du projet. La durée d'octroi est de 15 ans pour cette filière. Ces informations peuvent être vérifiées au paragraphe 2.2.3, p 32.

Selon les trois cas considérés, la production annuelle est supposée constante. En effet, il est difficile d'imaginer de quelle manière les conditions climatiques vont influencer le régime du cours d'eau dans les années à venir.

2.3.6.3 Résultats

2.3.6.3.1 Recettes

Ce tableau reprend les recettes obtenues pour le projet après 25 ans.

Tableau 11: Recettes du projet après 25 ans

	Puissance en Watts	Heures de fonctionnement de la turbine	Production électricité MWh/an	CV vendus	Électricité économisée	Total des recettes
Cas défavorable	317	4000	1,27	2459 €	6995 €	9454 €
Cas intermédiaire	412	6500	2,68	5198 €	14789 €	19988 €
Cas favorable	518	7882	4,09	7925 €	22548 €	30 473 €

Les puissances ont été calculées en fonction de différentes hypothèses. Celles-ci sont visibles au paragraphe 2.3.5.1, page 65. Pour rappel, il s'agissait du débit turbiné et de la chute nette.

Pour chaque MWh produit, le producteur reçoit 2,5 CV aux prix de 65 euros pour une durée de 15 ans. Le prix des CV prendra en compte le taux d'actualisation.

Ajoutons que pour chaque CV octroyé, une économie de 456 kg/CO₂ est réalisée. En théorie durant son cycle de vie, le projet pourrait économiser entre ± 8,7 et ± 28 tonnes de CO₂. En moyenne, un habitant belge rejette près de 10 tonnes de CO₂ par an ("Bilan Carbone Belgique," 2016). Dans le pire des cas, l'empreinte carbone du propriétaire pourrait donc s'avérer quasi nulle.

Quant à l'électricité, le propriétaire peut espérer économiser 250 euros par MWh produit. Pour évaluer les recettes de l'électricité non achetée, l'indexation de l'électricité ainsi que le taux d'actualisation ont été pris en compte.

2.3.6.3.2 Temps de retour

Tableau 12: Temps de retour du projet en fonction de 3 cas considérés

Temps de retour	
Cas défavorable	Supérieur à 50 ans
Cas intermédiaire	Fin de la 36 ^{ème} année
Cas favorable	Fin de 15 ^{ème} année

Les temps de retour sur investissements sont assez variables. En effet, dans le cas le plus optimiste, le propriétaire sera gagnant en fin de la 15^{ème} année. Dans le cas intermédiaire, cela passerait à la 36^{ème} année.

Le temps de retour prend en compte l'investissement de départ. De plus, il faut rappeler que la turbine est dimensionnée un certain nombre d'heures. Par conséquent, pour que le site continue à être exploité, il faudra réinvestir dans une nouvelle machine. Rappelons que cette turbine est dimensionnée pour 100.000 heures. Il faudra surement également réinvestir au niveau de la structure.

Tableau 13: Durée de vie de la turbine en fonction de la durée de fonctionnement annuelle

	Temps de fonctionnement annuel de la turbine	Durée de vie de la turbine
Cas défavorable	4000 heures	25 ans
Cas intermédiaire	6500 heures	15,4 ans
Cas favorable	7882 heures	12,7 ans

Notons que la rentabilité du projet est majoritairement influencée par l'investissement en génie civil. En effet, lorsque nous supprimons l'entièreté de ces coûts, le projet le moins favorable devient rentable en début de 11^{ème} année.

En outre, si le propriétaire réalisait les travaux en auto-construction : le temps de retour du cas intermédiaire passe en début de 20^{ème} année et pour le cas favorable en début de 10^{ème} année.

2.3.6.4 Discussions

Dans le cas où la réalité se rapprocherait du cas défavorable, le projet ne s'avérera pas rentable. En effet, même après plus d'un demi-siècle d'exploitation et en considérant que les hypothèses supposées se révèlent exactes, l'investissement ne serait pas amorti. En outre, bien que le cas intermédiaire paraisse peu intéressant, le propriétaire du site peut espérer un retour financier en fin de 36^{ème} année. Concernant le dernier cas, la rentabilité du projet est assurée en fin de 15^{ème} année.

Les temps de retour sont assez importants par rapport à des projets classiques. Il est surtout influencé par le génie civil mis en place. Néanmoins, le projet reste intéressant du point de vue économie d'énergie. Il permet de produire une certaine quantité d'électricité délocalisée. Dans l'avenir, d'autres technologies plus performantes verront probablement le jour et permettront surement d'exploiter ce type de site à moindre coût.

Rappelons qu'il existe encore de nombreux sites qui peuvent être réhabilités à travers l'Europe, le projet européen RESTOR HYDRO estime ce nombre à plus de 300 000 sites. (European Small Hydropower Association (ESHA), 2014). Il ne faut donc pas négliger ce potentiel et continuer à innover afin d'essayer de profiter de ces multiples sources d'énergie.

Conclusions

Ce travail avait pour but de mettre en avant les possibilités d'exploiter une installation hydroélectrique chez un particulier, le long du Ton, en vue d'une autonomie énergétique. Il a donc fallu procéder par étapes afin de tirer des conclusions sur ce sujet.

Dans un premier temps, la législation applicable à la réhabilitation d'un site hydraulique a été étudiée. Elle a permis d'avoir une meilleure compréhension du sujet et de dégager les points auxquels il faut faire attention lors d'une réhabilitation de sites. En effet, lorsqu'un propriétaire privé ou un groupe de personnes souhaitent réaliser un projet hydraulique, il convient de voir si la propriété du lieu de l'étude possède un droit d'eau. Ce droit ancestral accorde à toute personne possédant la propriété le droit d'exploiter l'énergie du cours d'eau. Il est également important de s'intéresser à la classification du cours d'eau. En fonction de celle-ci, les autorités compétentes différeront. Dans le cas présent, la rivière est classée comme étant un cours d'eau non navigable de troisième catégorie, elle est donc sous la compétence de la commune en matière d'autorisation mais sous tutelle provinciale. A ce propos, les obligations au niveau des infrastructures à mettre en place pour assurer la dévalaison et la montaison des poissons sont en train d'être revues pour ce classement de cours d'eau lorsqu'ils sont situés en tête de bassin. La localisation du site a aussi de l'importance afin d'identifier les possibles nuisances que ce dernier pourrait occasionner sur l'environnement.

Ensuite, il était important d'évaluer le débit moyen du cours d'eau. Précisons que, dans le cas présent, la méthode employée a permis d'obtenir un débit à un instant « T ». En effet, par manque de données et de temps, une étude en continu du débit n'a pu être réalisée. Néanmoins, étant donné les caractéristiques particulières du cours d'eau, le débit mesuré a été considéré comme étant le débit moyen du cours d'eau. Il a été mesuré grâce à la méthode du « champ de vitesse » et est de 0,078 m³/s. Si le projet se concrétise, il est primordial de réévaluer le débit sur une période de minimum un an afin de voir de quelle manière le régime du cours d'eau évolue en fonction des saisons.

Des relevés topographiques viennent compléter l'étude. Ces relevés ont permis de tracer divers profils dont 2 en longs et 2 en travers. Ainsi, la topographie du cours d'eau a pu être mieux visualisée. Durant les relevés, d'autres mesures ont été prises et notamment la hauteur brute. Celle-ci est d'environ 0,6 m et actuellement sur le marché aucune technologie ne fonctionne sous une chute de 1 m. Grâce aux relevés, plusieurs aménagements ont donc été pensés afin de rendre le site exploitable par une technologie existante sur le marché : système de vannage, creuser le cours d'eau ou profiter de la déclivité du cours d'eau afin d'amener l'eau plus loin et ainsi augmenter la hauteur de chute. C'est la dernière solution qui a été choisie. Elle semble être la technique la moins onéreuse, la plus écologique et la plus adaptée au site. Elle permettrait d'obtenir environ 1,20 m de chute brute.

En ce qui concerne la technologie, deux pouvaient correspondre aux caractéristiques mesurées (débit et hauteur brute de chute) : turbine « PowerSpout LH pro » et « Turbiwatt Lynx ». Pour des raisons de coûts et d'efficacité moindre notamment, la turbine « PowerSpout » a été oubliée.

Le choix de la technologie a également été guidé par le but du mémoire qui était d'essayer d'assurer l'autonomie énergétique du particulier. Il était donc important d'avoir une idée de ses consommations afin de dimensionner l'installation le mieux possible.

En outre, une estimation du potentiel électrique a été mise en avant. Il a été évalué en fonction de différentes hypothèses : débits turbinés, chute nette et durée de fonctionnement. Ces différentes éventualités ont permis de faire ressortir 3 cas : défavorable, intermédiaire et favorable. Les puissances obtenues varient de 317 watts à 518 watts. En ce qui concerne la production électrique, elle oscille entre 1267 et plus de 4000 kWh. Les conclusions ont été qu'en fonction des cas, le propriétaire pourrait couvrir sa consommation électrique à hauteur de 18 % minimum à près de 59 % dans le cas le plus optimiste. Il faut ajouter que la consommation du propriétaire est assez importante par rapport à un ménage moyen wallon : 3500 kWh. En effet, sa consommation moyenne de 2015/2016 est de plus 6900 kWh. Dans le cas le plus optimiste et où sa consommation est réduite, ce type de système pourrait donc assurer l'autonomie d'une habitation moyenne. D'une manière plus générale, il est difficile de prévoir les consommations futures des ménages ainsi que l'évolution des technologies. Cependant, ce système peut être un bon compromis pour assurer les besoins en électricité d'une habitation ayant des consommations situées dans la moyenne.

Enfin, il était important d'évaluer les coûts d'un tel projet ainsi que le temps de retour financier. Les recettes après 25 ans d'exploitation ont également été mises en avant. Le projet a été estimé à 20 000 euros. Ce prix comprend l'investissement pour le génie civil, la turbine et ses équipements ainsi que le raccordement électrique etc. L'OPEX du projet a été considéré comme nul, car il a été considéré que l'ensemble de l'entretien se ferait par le propriétaire. Les recettes d'un tel projet sont de deux types : vente des certificats verts et vente de l'électricité. Pour évaluer les revenus générés, l'indexation de l'électricité a été prise en compte mais également le taux d'actualisation de l'argent. Après 25 ans de service, le site hydroélectrique pourrait fournir entre environ 9400 à environ 30 500 euros suivant le cas considéré. Les temps de retour financier sont évalués à plus de 50 ans dans les conditions le plus pessimistes et après 14 ans dans les cas les plus optimistes. Notons que le génie civil a un impact important sur le projet. En effet, dans le cas le moins favorable, sans génie civil, le retour sur investissement passerait à 11 ans. Cela montre bien le poids des travaux sur la rentabilité du projet. Ajoutons qu'actuellement, pour les puissances de moins de 10 kW, le mécanisme de soutien « compteur qui tourne à l'envers » est d'application. Dans quelques années, si ce type de projet se développe, il est probable que les propriétaires d'installations pico hydrauliques payent une redevance pour l'utilisation du réseau.

Bien que ce projet semble être difficilement réalisable, il n'en est pas moins intéressant. Il aura permis de mettre en avant les difficultés qui peuvent être rencontrées lors de la réhabilitation de sites lorsque la hauteur de chute ainsi que le débit sont relativement faibles. En outre, il a permis de visualiser l'ensemble des démarches à réaliser lorsque quelqu'un souhaite se lancer dans un projet similaire. Enfin, le potentiel est encore présent en Wallonie et en Europe et les nombreux sites situés dans ces endroits sont à étudier de manière consciente car ils sont source d'un potentiel non négligeable et ils s'intègrent tout à fait dans une logique de développement durable. Il est également important de rappeler qu'actuellement, il n'existe aucune turbine pouvant fonctionner théoriquement sous une hauteur d'un mètre de chute.

Bibliographie

- Administration communale de Saint-Léger. (n.d.-a). A la découverte des entreprises utilisant la force motrice. Retrieved May 2, 2017, from http://www.saint-leger.be/index2.php?lg=fpdb/stleger_fr&page1=f-culture_2_loisirs_2_sports.htm&page2=f-d-balades_2_promenades.htm&rep=f-culture_2_loisirs_2_sports&rep2=f-d-balades_2_promenades&page3=f-d-b-decouverte_entreprises.htm
- Administration communale de Saint-Léger. (n.d.-b). Saint-Léger. Retrieved February 5, 2017, from http://www.saint-leger.be/index2.php?lg=fpdb/stleger_fr&page1=h-contacts.htm
- Agence allemande de l'énergie. (2015). Energie hydroélectrique technologies et applications. Retrieved April 13, 2017, from <http://www.renewables-made-in-germany.com/fr/renewables-made-in-germany/technologies/energie-hydraulique/energie-hydraulique/technologies-et-applications.html>
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEM). (2014). Les impacts de l'hydraulique sur l'environnement. Retrieved April 19, 2017, from <http://mtaterre.fr/dossiers/comment-ca-marche-lenergie-hydraulique/les-impacts-de-lhydraulique-sur-lenvironnement>
- Allard, R. (2015). Épreuve de sciences de l'ingénieur. Retrieved April 19, 2017, from http://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/epreuve-de-sciences-de-lingenieur-juin-2015-metropole-0
- AMAZON. (2017). RYB 40R25 Gaine fourreau TPC Rouge Diamètre 40 - 25 m. Retrieved June 1, 2017, from https://www.amazon.fr/RYB-40R25-Gaine-fourreau-Diam%C3%A8tre/dp/B01MTQXW3W/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1496313662&sr=8-1&keywords=gaine+electrique+exterieur
- André, H. (1976). *Hydrométrie pratique des cours d'eau*.
- APERe. (n.d.). Outil d'analyse financière d'une installation photovoltaïque. Retrieved June 2, 2017, from <http://www.apere.org/diffuser/pv/>
- APERe. (2016). *Hydroélectricité : estimation du potentiel d'un site*.
- APERe asbl. (2017). Observatoire hydroélectricité. Retrieved March 28, 2017, from <http://www.apere.org/fr/observatoire-hydroelectricite>
- Aquatechnique. (2003). La conductivité. Retrieved May 11, 2017, from http://aquatechnique.pagesperso-orange.fr/Techniques/page_conduc.htm
- Balzat, N.-H. (1978). Ton. Retrieved May 3, 2017, from <http://users.sfr.be/travelingirl/eau/rivieres-ton.htm>
- Barbier, C. (2006). *Etude de faisabilité technico-économique au moulin Hamptea*.
- Benoist, J.-C., & Birgand, F. (2002). Les dispositifs de mesure des débits dans les bassins versants agricoles. *Ingénieries*, 32, 51–63 p.
- Bilan Carbone Belgique. (2016). Retrieved June 6, 2017, from <http://bilan-carbone-belgique.com/>

Bouezmarni, M., Denne, P., & Debbaut, V. (2009). *Notice Explicative - Carte hydrogéologique de Wallonie - Meix-Devant-Virton.*

BRICO. (2017). Câble électrique Sencys "XVB-F2 3G2,5" gris 50 m. Retrieved June 1, 2017, from <https://www.brico.be/fr/atelier-materiaux/electricite/cables-et-rangement/cables-electriques/cable-electrique-sencys-xvb-f2-3g2-5-gris-50-m/5233785>

Callmepower. (2015). Consommation moyenne d'électricité en Belgique. Retrieved May 29, 2017, from <http://callmepower.be/fr/faq/consommation-moyenne-electricite>

Carlier Bois. (2017). Bois de menuiserie / moulures. Retrieved May 31, 2017, from <https://www.carlier.be/page/bois-de-menuiserie.html>

Centre Urbain asbl. (n.d.). Appareils électroménagers et éclairage. Retrieved May 21, 2017, from <http://www.curbain.be/component/content/article/5-reglementations/123-appareils-electromenagers-a-eclairage>

Charrier, J. (n.d.). Syndicat d'Aménagement Hydraulique du Sud Loire. Retrieved May 26, 2017, from <http://www.sahsudloire.fr/>

Connaissance des énergies. (2013). Hydroélectricité. Retrieved March 29, 2017, from <http://www.connaissancesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite>

Coopérative Gaume Energies. (2017). Gaume Energies scrl. Retrieved May 2, 2017, from <http://gaumeenergies.be/>

CWaPE. (2003). *Le régime des certificats verts.* Retrieved from <http://www.cwape.be/servlet/Repository?IDR=587>

CWaPE. (2014). Transactions des CV. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.cwape.be/?dir=3.4.01>

CWaPE. (2015a). *L'évolution du marché des certificats verts.*

CWaPE. (2015b). Quota de CV en RW. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.cwape.be/?dir=3.4.02>

CWaPE. (2016). Statistiques prix. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.cwape.be/?dir=3.4.11>

D'HERNONCOURT, J. (2017). Hydroélectricité : 16 nouveaux sites wallons en 2016. Retrieved March 29, 2017, from <http://www.renouvelle.be/fr/statistiques/hydroelectricite-16-nouveaux-sites-wallons-en-2016>

De Vilaret, E. (n.d.). La roue Sagebien. Retrieved May 25, 2017, from <http://www.moulinsdefrance.org/old/sagebien.html>

Debbaut, V. (2014). *MASSOSUDLUX.*

DELHEZ, J.-C. (2005). *La sidérurgie gaumaise. Tome 2: les usines.* (Weyrich Edition, Ed.). Stavelot.

Dellinger, G., Terfous, A., Ghenaim, A., & Garambois, P. (2015). *Optimisation d'une vis d'Archimède pour la production d'énergie dans les microcentrales hydroélectriques.*

Département du développement durable. (n.d.). Les machines elevatoires. Retrieved May 1, 2017, from <http://www.fao.org/docrep/010/ah810f/AH810F12.htm#Table 21>

Département du développement durable. (2017). Les machines elevatoires. Retrieved March 27, 2017, from <http://www.fao.org/docrep/010/ah810f/AH810F12.htm>

Di, W. (2014). *Etudes thermiques du chauffage par hypocauste*. Cosnes et Romain.

Eaufrance. (n.d.). Les jaugeages dans le bassin Artois-Picardie. Retrieved May 11, 2017, from <http://www.artois-picardie.eaufrance.fr/inondations-et-secheresse/situation-hydrologique/article/les-jaugeages-dans-le-bassin>

Ecole de pêche. (n.d.). La reproduction des poissons. Retrieved May 10, 2017, from http://www.ecolededepeche.be/Fr/La-reproduction-des-poissons_231_0.html

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. (2017). La mesure hydrologique. Retrieved May 11, 2017, from <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/chapitre7.html>

Elia. (n.d.). Prix minimum imposé et cadre légal. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.elia.be/fr/produits-et-services/certificats-verts/Minimumprice-legalframe>

Elie, F. (2014). *Coup de bâlier et cheminée d'équilibre*.

Energie Facteur 4 (EF4). (n.d.). Fonctionnement du mécanisme des certificats verts. Retrieved from <http://www.ef4.be/fr/marche-energie/certificats-verts/>

Enguerrand, D., Romain, L., Emilien, V. (2012). Le fonctionnement des barrages. Retrieved April 11, 2017, from <https://barrage-tpe.jimdo.com/le-tpe/ii-le-fonctionnement-des-barrages/>

Etude d'une roue poncelet. (2010). Retrieved May 25, 2017, from <http://dbhsarl.eu/temp/hydroroues/Poncelet.htm>

European Small Hydropower Association (ESHA). (2014). *Small and Micro Hydropower Restoration Handbook*.

Facilitateur hydroélectrique (APERE Asbl). (2014). *Vade-mecum non-technologique du candidat à la réhabilitation d'un site hydroénergétique*. Retrieved from <http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/vademecum-hydro-2014.pdf?ID=29929>

Geandrot, J. (2016). EM 18: Notion d'induction. Retrieved May 11, 2017, from <http://www.physagreg.fr/electromagnetisme-18-notions-induction.php>

GESS-CZ. s.r.o. (n.d.). Vis hydrodynamique. Retrieved May 20, 2017, from <http://www.gess.cz/fr/vis-hydrodynamique.html>

Gilkes. (2010). *Turgo Impulse Hydro Turbine*.

Gouriérès, D. Le. (2009). *Les petites centrales hydroélectriques - Conception et calcul*. (M. Cadiou, Ed.). Goudelin.

Groupe CDH. (2015). Les ressources hydroélectriques en Wallonie. Retrieved June 3, 2017, from <http://www.cdh-wallonie.be/notre-action-au-pw/questions-ecrites/les-ressources-hydroelectriques-en-wallonie>

Guichets Energie (Région wallonne). (n.d.). Guichets Énergie Wallonie - Site énergie du Service Public de Wallonie. Retrieved February 28, 2017, from <http://energie.wallonie.be/fr/guichets-energie-wallonie.html?IDC=6946>

Guichets Energie (Région wallonne). (2013). *Notes technique - Le niveau*.

- Gunt Hamburg. (1995). Turbines hydrauliques, 1–14.
- Haveaux, C. (2014). Certificats verts : nouvelle méthodologie. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.renouvelle.be/fr/actualite-belgique/certificats-verts-nouvelle-methodologie>
- Hydric. (2015a). Microturbine LH-PRO PowerSpout. Retrieved May 26, 2017, from <http://www.hidric.fr/productdisplay/microturbine-lh-pro-powerspout>
- Hydric. (2015b). *Quels sont et comment choisir, les microturbines PLT, TRG, LH de powerspout.*
- Iglesias, J. (2015). Variation de pas, l'hélice à pas variable. Retrieved April 17, 2017, from <http://www.heliciel.com/helice/helice-pas-variable.htm>
- Kelner, V ; Dachouffe, R., & Duchesne, N. (2011). *Développement d'un banc d'essais pour pico-turbines hydrauliques , validation de leurs caractéristiques et analyse de leur intégration dans un système de production.*
- L'énergie hydraulique. (2008). Retrieved March 29, 2017, from http://www.electricite-verte.com/base-de-connaissances/energie-et-developpement-durable_fiche_les-sources-d-energies-renouvelables_l-energie-hydraulique.html
- Le bilan carbone de l'énergie hydraulique. (2013). Retrieved June 3, 2017, from <http://www.hydrauxois.org/2013/03/le-bilan-carbone-de-lenergie-hydraulique.html>
- Leclercq, A. (2016). Hydrienne domestique : une électricité renouvelable, propre et pas chère. Retrieved April 19, 2017, from <http://positivr.fr/hydrienne-domestique-idenergie-renouvelable/>
- Lenoble, J.-L. (1995). Relations rivière nappe. Retrieved May 4, 2017, from http://www.personnel.lenoblejeanlouis.fr/tet_1.htm
- Lycée Chevrollier. (2010). *Dimensionnement des Turbines.*
- Lycée Teilhard de Chardin. (2009). Fonctionnement et Caractéristiques - TPE Barrages et Energie Hydroélectrique. Retrieved April 17, 2017, from <http://tpe.tdcc.fr/fonctionnement-et-caracteristiques.html>
- Maverick, J. B. (2017). What is the difference between CAPEX and OPEX? Retrieved June 1, 2017, from <http://www.investopedia.com/ask/answers/020915/what-difference-between-capex-and-opex.asp>
- Merytherm Bureau d'Etude. (n.d.). Les principaux types de turbine. Retrieved April 18, 2017, from <http://mtbe.be/comment-ca-fonctionne/4-les-principaux-types-de-turbine>
- Merytherm bureau d'étude. (n.d.). Les différents types de roues de moulin. Retrieved May 1, 2017, from <http://mtbe.be/comment-ca-fonctionne/5-les-differents-types-de-roues-de-moulin>
- MJ2 Technologies. (2013). Le Produit VLH. Retrieved April 19, 2017, from <http://www.vlh-turbine.com/turbine>
- Natura 2000. (n.d.). Natura 2000 Network viewer. Retrieved May 10, 2017, from <http://natura2000.eea.europa.eu/#>
- Office fédéral de l'énergie. (2012). *Manuel petites centrales hydrauliques.*

Ooreka. (2016). Pico centrale hydroélectrique. Retrieved April 18, 2017, from <https://centrale-hydroelectrique.ooreka.fr/comprendre/pico-centrale-hydroelectrique>

PACER. (1995). *Le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une mini-turbine.*

PowerSpout. (n.d.). PowerSpout LH. Retrieved April 19, 2017, from <http://www.powerspout.com/low-head/>

PowerSpout. (2017). PowerSpout LH. Retrieved May 27, 2017, from <http://shop.powerspout.com/products/powerspout-lh>

PowerSpout Turbines. (2017). Retrieved May 25, 2017, from <http://shop.powerspout.com/categories/powerspout-turbines>

Prix de pose d'un tableau électrique. (2017). Retrieved June 1, 2017, from <http://www.prix-pose.com/tableau-electrique/>

Province de Luxembourg. (2011). Guichets Energie Wallonie. Retrieved May 20, 2017, from <http://www.province.luxembourg.be/fr/guichets-energie-wallonie.html?IDC=5278>

REN 21. (2015). *Rapport sur le statut mondial des énergies renouvelables 2016.* Paris.

Restor Hydro. (n.d.). Libérer le potentiel de petite hydroélectricité en Europe! Retrieved April 20, 2017, from <http://www.restor-hydro.eu/fr/bienvenue-a-restor-hydro/liberer-le-potentiel-micro-hydroelectrique-a-travers-leurope/>

Sauthier, G. (2014). *Développement d'une pico-turbine hydraulique pour alimenter des stations de mesures environnementales en zone de haute montagne.*

Sofico. (2016). Retrieved June 3, 2017, from <http://www.sofico.org/fr/la-sofico-va-developper-de-nouveaux-projets-ambitieux-d-energies-renouvelables-sur-son-domaine>

Spaans Babcock. (2015). Hydro Dynamique. Retrieved May 20, 2017, from http://www.spaansbabcock.com/fr/hydro_dynamique.aspx

SPW. (n.d.-a). L'eau, force motrice pour produire de l'électricité. Retrieved June 3, 2017, from <http://energie.wallonie.be/fr/l-hydraulique.html?IDC=6175>

SPW. (n.d.-b). WalOnMap. Retrieved May 3, 2017, from <http://geoportail.wallonie.be/walonmap#CTX=CADASTRE#BBOX=244502.16615590188,245566.4547428124,35229.54070096177,35769.95324012018>

SPW. (2017). Piez'eau. Retrieved May 3, 2017, from <http://piezo.environnement.wallonie.be/Station.do?method=displayGraph&startDate=01/06/2007&endDate=31/05/2017&time=1493814374158>

Sylla, I. (2010). Carte et coupe géologiques. Retrieved May 5, 2017, from <http://coinderecherche.over-blog.com/article-carte-et-coupe-geologiques-44931625.html>

Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie. (2017). Cartes piézométriques. Retrieved May 4, 2017, from <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?rubrique19>

Tixier, G. (2014). La turbine respectueuse des rivières.

Turbiwatt. (n.d.-a). Choisir sa turbine adaptée à votre potentiel. Retrieved April 19, 2017, from <http://www.turbiwatt.com/fr/second-menu-fr/choisir-sa-turbine.html>

- Turbiwatt. (n.d.-b). Installer sa turbine. Retrieved May 30, 2017, from <http://www.turbiwatt.com/fr/installer-sa-turbine.html>
- Turbiwatt. (n.d.-c). L'innovation Turbiwatt. Retrieved May 29, 2017, from <http://www.turbiwatt.com/fr/l-innovation-turbiwatt.html>
- Turbiwatt. (n.d.-d). Turbine Lynx T250. Retrieved June 1, 2017, from <http://www.turbiwatt.com/fr/turbine-lynx.html>
- Turbiwatt. (2009a). Turbiwatt gamme Lynx. Retrieved May 29, 2017, from <http://www.turbiwatt.com/lynx.php>
- Turbiwatt. (2009b). *Turbiwatt gammee Lynx*.
- Turbiwatt. (2015). *Tarif Public C*.
- Turbiwatt. (2017). *Lynx -Hydro-générateur de 600 à 800 W*.
- Types Of Water Turbines - Waterturbines. (n.d.). Retrieved April 16, 2017, from <http://waterturbines.wikidot.com/main:types-of-water-turbines>
- U.S. Department Energy. (n.d.). HISTORY OF HYDROPOWER. Retrieved March 27, 2017, from <https://energy.gov/eere/water/history-hydropower>
- Une hydrienne de rivière. (2016). Retrieved May 27, 2017, from <http://energietechnologierepensee.com/hydrienne-de-riviere/>
- Union of Concerned Scientists. (n.d.). Environmental Impacts of Hydroelectric Power. Retrieved April 19, 2017, from http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html#.WPcogGnyhph
- UNIPSO. (2010). Système d'octroi de certificats verts. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.unipso.be/spip.php?rubrique271>
- Unité TERM. (2003). *La filière hydroélectrique : Aspects technologiques et environnementaux*.
- UVED. (2008). Aquifères, aquiclude et aquitards. Retrieved May 4, 2017, from http://www.cima.ualg.pt/piloto/UVED_Geochimie/UVED/site/html/2/2-2/2-2-2/2-2-2-4.html
- Vialas. (2017). Le Boccard - Vialas. Retrieved May 10, 2017, from <http://www.vialas-commune.fr/vivre-et-sejourner-a-vialas/la-commune-de-vialas/patrimoine-bati/le-boccard-2/>
- Vincent Boucton. (2009). Vitesse spécifique d'une turbine. Retrieved April 16, 2017, from <http://tpe.barrages.2008.free.fr/index.php/energie-mecanique/82-vitesse-specifique-turbine.html>
- Viollet, P.-L. (2014). Stockage d'énergie par pompage hydraulique : STEP. Retrieved May 1, 2017, from <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/stockage-de-l-energie-42638210/stockage-d-energie-par-pompage-hydraulique-step-be8582/>
- Vortex Hydrokinetics LLC. (2016). Technologie. Retrieved April 28, 2017, from <https://vortexhydro.com/fr/technologie>

Annexes

A) Restor hydro

Le tableau ci-dessous montre les différentes caractéristiques du site reprises par le projet européen. Les informations annoncées restent assez générales.

Name:	Fourneau Dahérée
Address:	49.623674,5.682184
Country:	Belgium
Historical Use:	Watermill, sawmill, other mechanical power system
Restorable Condition:	Degraded
Power Availability(KW):	Up to 40 KW
Date Last revised:	7/18/2015
Expected Mean flow Rate(m ³ /s):	1.543 distance to nearest gauging station (km) 12.2
Expected Head(M):	Tbd (pas de précision)
Hydropower:	Exact power depending on local conditions
Restorable:	No remains apart from building
Historical sensitivity:	Unknown
Environmental sensitivity:	Depending on local conditions
Comment:	« Ton » le Desk update of APERe Inventaire des sites hydro énergétiques de la Région Wallonne 1995
Grid Connections:	Probably easy
ID:	104079

(Restor Hydro, n.d.)

Nous pouvons dire qu'aucune précision n'a été trouvée pour l'abréviation « Tbd ». De plus, le débit annoncé fait référence à la station située en aval du site d'étude.

Les mesures effectuées par cette station ne peuvent être prises en compte, la distance étant trop importante pour évaluer les pertes de charges. De plus, des cours d'eau viennent se rejeter dans le Ton et font fluctuer son débit.

B) Site d'étude



Figure 51: Photo aérienne montrant la propriété

Photo aérienne du site, prise au niveau du Géoportail de Wallonie. La propriété où se situe le projet est délimitée en « orange-jaune ».

La photo suivante est un extrait du plan cadastral reçu par le propriétaire de l'habitation.

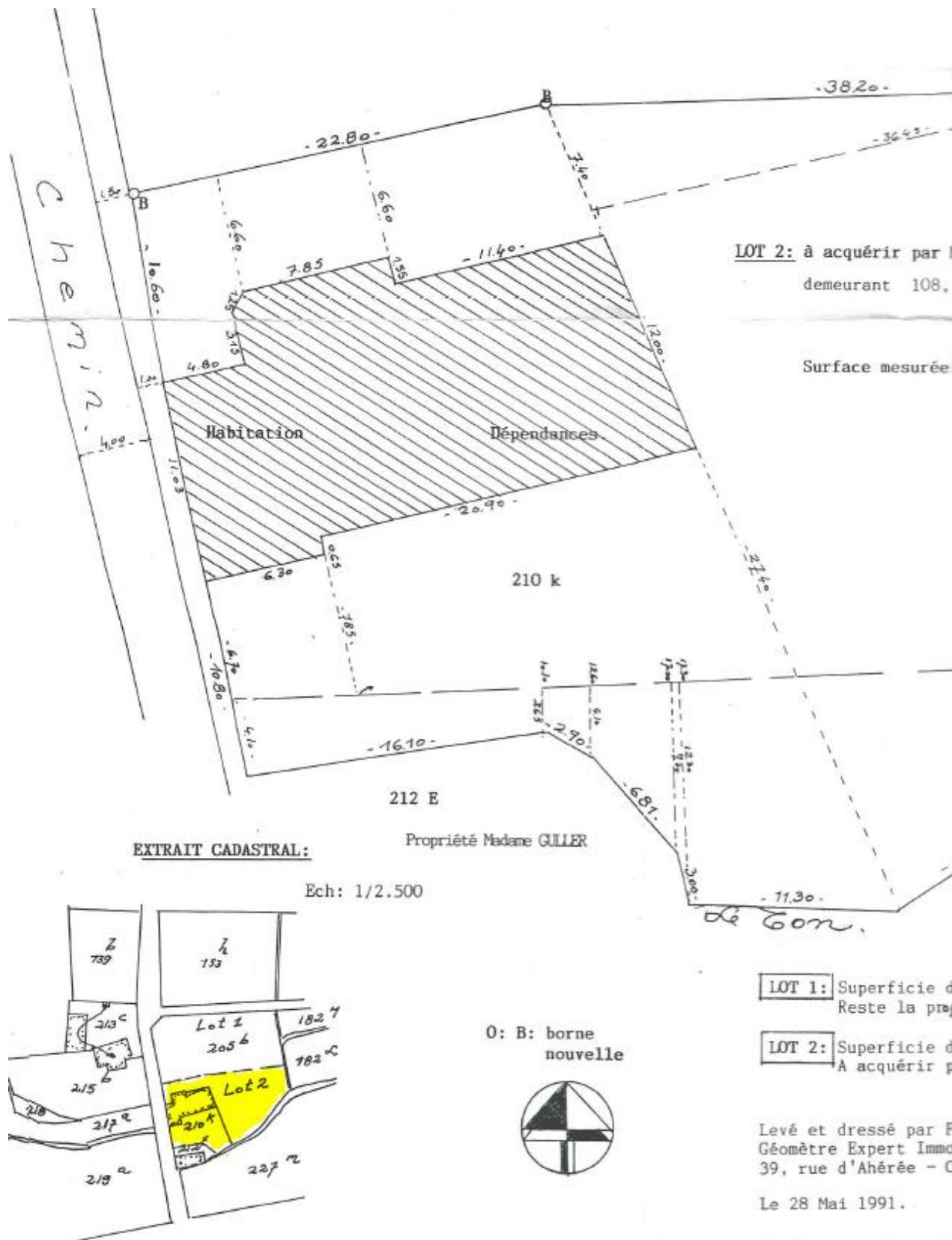


Figure 52: Plan cadastral d'une partie de la propriété et localisation de l'ensemble de la propriété en jaune

Plan cadastral de la commune de Châtillon indiquant la situation des usines David et Dahérée. Ce plan date de 1890 et provient des archives d'Arlon.

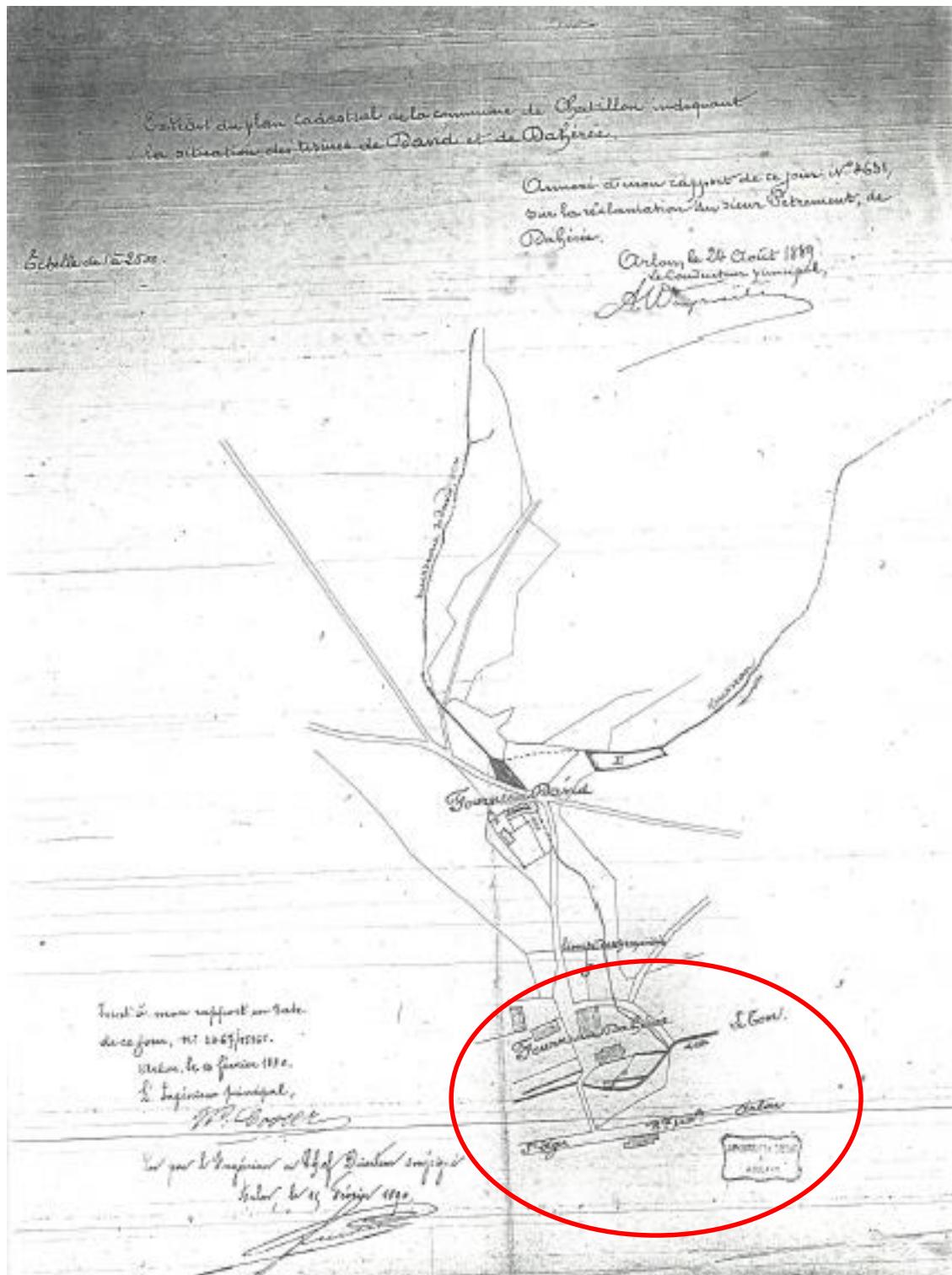


Figure 53: Plan cadastral datant de 1890 (Localisation du fourneau Dahérée dans le rond rouge)

C) Mesures de débits

Tableau 14: Mesures par jaugeage par dilution de traceur

Jaugeage par dilution de traceur							
Heure	K en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Déférence (Kinitial-K)	mg/l NaCl	Intégrale	Heure	K en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Déférence (Kinitial-K)
13:09:09	201,7	-0,3	-0,15	13:29:44	202,4	0,4	0,20
13:09:44	202,5	0,5	0,25	13:30:14	202,7	0,7	0,35
13:10:14	202,8	0,8	0,40	9,87	13:30:44	202,5	0,5
13:10:44	203,4	1,4	0,71	16,70	13:31:14	202,8	0,40
13:11:14	203,6	1,6	0,81	22,78	13:31:44	202,8	0,8
13:11:44	203	1	0,51	19,74	13:32:14	202,1	0,1
13:12:14	202,7	0,7	0,35	12,91	13:32:44	201,7	0,3
13:12:44	202,2	0,2	0,10	6,83	13:33:14	201,4	-0,6
13:13:14	205,7	3,7	1,87	29,61	13:33:44	201,5	-0,5
13:13:44	436	234	118,43	1804,59	13:34:14	201,6	-0,4
13:14:14	300	98	49,60	2520,50	13:34:44	201,8	-0,2
13:14:44	245	43	21,76	1070,45	13:35:14	202,1	0,1
13:15:14	223	21	10,63	485,88	13:35:44	202	0
13:15:44	213,3	11,3	5,72	245,22	13:36:14	202,1	0,1
13:16:14	209	7	3,54	138,93	13:36:44	202,1	0,1
13:16:44	206,6	4,6	2,33	88,07	13:37:14	202,2	0,2
13:17:14	204,6	2,6	1,32	54,66	13:37:44	201,8	-0,2
13:17:44	204,1	2,1	1,06	35,68	13:38:14	202,2	0,2
13:18:14	203,8	1,8	0,91	29,61	13:38:44	201,9	-0,1
13:18:44	203,8	1,8	0,91	27,33	13:39:14	202,3	0,3
13:19:14	203,4	1,4	0,71	24,29	13:39:44	202,3	0,3
13:19:44	202,8	0,8	0,40	16,70	13:40:14	202,3	0,3
13:20:14	203	1	0,51	13,67	13:40:44	202,6	0,6
13:20:44	203,1	1,1	0,56	15,94	13:41:14	202,5	0,5
13:21:14	202,8	0,8	0,40	14,42	13:41:44	202	0
13:21:44	202,6	0,6	0,30	10,63	13:42:14	201,8	0,2
13:22:14	202,3	0,3	0,15	6,83	13:42:44	201,8	-0,2
13:22:44	201,9	-0,1	-0,05	-1,52	13:43:14	202,3	0,3
13:23:14	201,9	-0,1	-0,05	-1,52	13:43:44	202	0
13:23:44	201,9	-0,1	-0,05	-1,52	13:44:14	202,1	0,1
13:24:14	202,2	0,2	0,10	0,76	13:44:44	202	0
13:24:44	202,7	0,7	0,35	6,83	13:45:14	202,6	0,6
13:25:14	202,1	0,1	0,05	6,07	13:45:44	203,1	1,1
13:25:44	202,4	0,4	0,20	3,80	13:46:14	202,5	0,5
13:26:14	202,7	0,7	0,35	8,35	13:46:44	201,6	-0,4
13:26:44	202,6	0,6	0,30	9,87	13:47:14	202	0
13:27:14	202,4	0,4	0,20	7,59	13:47:44	202,2	0,2
13:27:44	202,3	0,3	0,15	5,31	13:48:14	202,1	0,1
13:28:14	202	0	0,00	2,28			
13:28:44	202	0	0,00	0,00			
13:29:14	202,3	0,3	0,15	2,28			
							6864,56
							2,28

Tableau 15: Mesures brutes du champ de vitesse

Champ de vitesse					
Bord à 45 cm					
X en cm	70	70			
Y en cm	3	8			
V en m/s	0.01	0.01			
X en cm	90	90	90	90	
Y en cm	3	6	9	15	
V en m/s	0.06	0.1	0.11	0.08	
X en cm	110	110	110	110	110
Y en cm	3	6	10	15	22
V en m/s	0.11	0.18	0.19	0.2	0.19
X en cm	130	130	130	130	130
Y en cm	3	6	10	15	20
V en m/s	0.08	0.12	0.15	0.19	0.21
X en cm	160	160	160	160	160
Y en cm	3	6	10	15	20
V en m/s	0.15	0.2	0.21	0.24	0.25
X en cm	190	190	190	190	190
Y en cm	3	6	10	15	20
V en m/s	0.22	0.23	0.23	0.24	0.27
X en cm	220	220	220	220	220
Y en cm	3	6	10	15	21
V en m/s	0.12	0.22	0.25	0.29	0.25
X en cm	250	250	250	250	
Y en cm	3	6	10	13	
V en m/s	0.19	0.25	0.28	0.24	
X en cm	270	270	270		
Y en cm	3	6	10		
V en m/s	0.13	0.19	0.23		
X en cm	280	280	280		
Y en cm	3	6	9		
V en m/s	0.19	0.195	0.16		
X en cm	310	310			
Y en cm	3	7			
V en m/s	0.09	0.09			
Bord à 330 cm					

Fond  Surface

D) Etapes dans le logiciel Surfer 6

1. *Création d'un fichier de données* : ouvrir le fichier d'exportation dans le logiciel en allant dans l'onglet « file » et ensuite dans celui nommé « worksheet ». Dès lors, nous pouvons convertir notre fichier d'importation « sylk » en un fichier de données « dat » : FOURNEAU.dat
2. *Création d'un fichier grille* : se rendre dans l'onglet « Grid » et aller ensuite dans « Data ». Une fenêtre « Open data » s'ouvre. Il faut choisir le fichier de nos données nommées « FOURNEAU.dat ». Une nouvelle fenêtre nommée « Scattered Data Interpolation » s'ouvre. Ce type de fichier va permettre par la suite de représenter notre champ de vitesse ainsi que de calculer le volume d'eau passant par seconde au niveau de la section du cours d'eau étudiée.

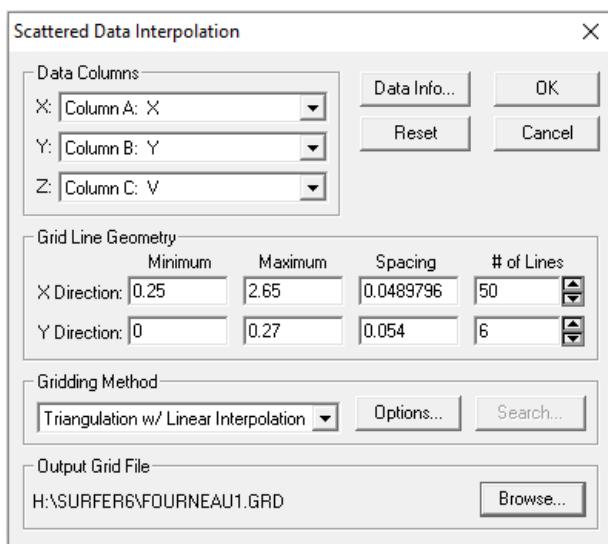


Figure 54: Fenêtre servant à créer le fichier grille

Sur cette fenêtre, les données sont réparties en 3 colonnes (x,y,z). Les maximums et minimums des lignes de la grille sont également notés. L'espace entre le nombre de lignes verticales et horizontales ainsi que leurs nombres peuvent aussi être connus sur cette fenêtre.

Des méthodes pour réaliser la grille existent également. Afin d'évaluer comment fluctue la vitesse pour la section de cours d'eau étudiée, une méthode d'interpolation doit être choisie. Celle qui a été choisie est celle de l'interpolation linéaire, interpolation qui semblait la plus appropriée pour le traitement des données.

Au niveau de cette fenêtre, il faut se rendre dans « Options ». Dans la nouvelle fenêtre, il faut cocher l'option « ignorer les données hors de la grille » ; ainsi, ces valeurs ne seront pas prises en compte pour évaluer le volume d'eau « m^3 » passant dans la section par seconde. Le fichier ainsi peut être enregistré sous le format « GRD » : « FOURNEAU1.GRD »

3. *Calcul du volume d'eau* : se rendre dans l'onglet « Grid » et aller dans « Volume ». Ensuite, sélectionner le fichier « FOURNEAU1.GRD ». Laisser les paramètres par défaut et exécuter l'opération.

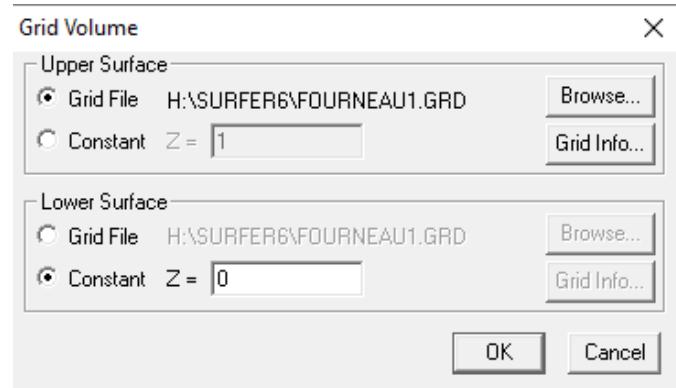


Figure 55: Fenêtre des paramètres par défaut pour déterminer le débit

Tableau 16: Informations et résultats de notre fichier grille

Résultats exportés du programme Surfer

X en m	0,25 à 2,65
Y en m	0,00 à 0,27
Z en m/s	0,00 à 0,29
Débit calculé m ³ /s	0,078

Une approximation du débit a été réalisée en calculant le volume sous la courbe par la méthode des trapèzes et la règle de Simpson (approximation d'ordre 2 de l'air sous notre courbe). Ces deux méthodes sont utilisées pour approximer la surface sous la courbe.

Une moyenne entre les valeurs obtenues par ces deux méthodes a été réalisée afin d'obtenir le débit.

4. *Obtenir les différents nœuds de la grille* : se rendre dans l'onglet « Grid » et aller dans « Grid node editor ». Ensuite, sélectionner le fichier « FOURNEAU1.GRD ». L'ensemble des points de la grille vont posséder une valeur (x, y et z). Cependant, seuls les points situés entre nos valeurs minimums et maximums seront prises en compte pour effectuer le calcul du débit. La valeur « Y » égale à 0 représente la surface du cours d'eau.

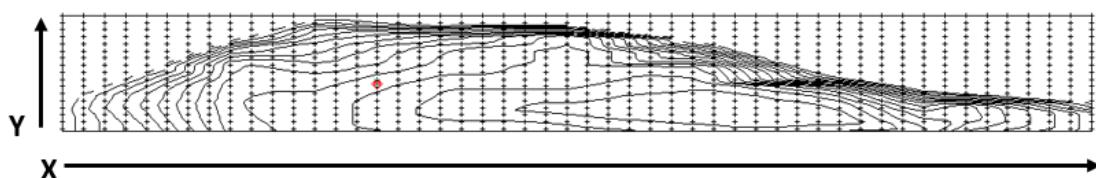


Figure 56: Grille mettant en avant l'ensemble des points de notre fichier grille

5. *Obtenir le champ de vitesse de la section du cours d'eau étudiée : aller sur l'onglet « open grid » (**). Ouvrir à nouveau le fichier « FOURNEAU1.GRD » et la fenêtre « Contour map » s'affiche. Dans cette fenêtre, il faut juste cocher « Fil Contours » et « Color Scale ». Le résultat obtenu est visible ci-dessous. Nous pouvons voir comment sont distribuées les vitesses dans notre section de cours d'eau. Les vitesses les plus faibles se trouvent logiquement au niveau du fond du cours d'eau mais également du côté des berges. A l'inverse, les vitesses les plus importantes sont situées au centre du cours d'eau vers la surface. La valeur « Y » égale à 0 représente la surface du cours d'eau.*

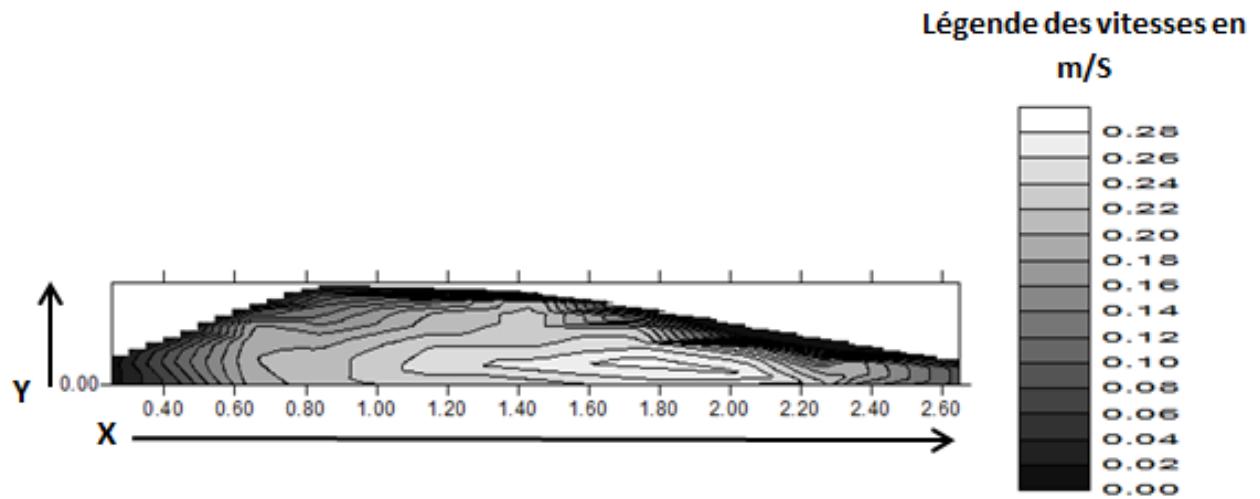


Figure 57: Profil de vitesse de la section du cours d'eau étudiée

E) Relevés topographiques

Mise en station

Phase 1

- Choisir un endroit toute les mesures pourront être effectuées sans changer de station. Il est important de choisir judicieusement sa station de mesure afin d'avoir un angle de vue à 360 ° de notre zone de mesure. Notons que cela s'avère parfois difficile.
- Ouvrir le trépied et le stabiliser au sol à une hauteur correcte. Pour régler cette hauteur, il faut jouer avec les vis de réglages au niveau des pieds afin d'être le plus horizontal possible. Il faut également appuyer sur les talons du trépied pour assurer sa stabilité.
- Poser le niveau et fixer délicatement le niveau sur le trépied grâce à la poignée de fixation (serrage léger)

Phase 2

- Mettre l'appareil à niveau : mettre la lunette parallèle à deux réglages (*) et centrer la bulle sphérique.
- Reproduire l'étape pour s'assurer que la lunette soit parallèle à l'ensemble des réglages .

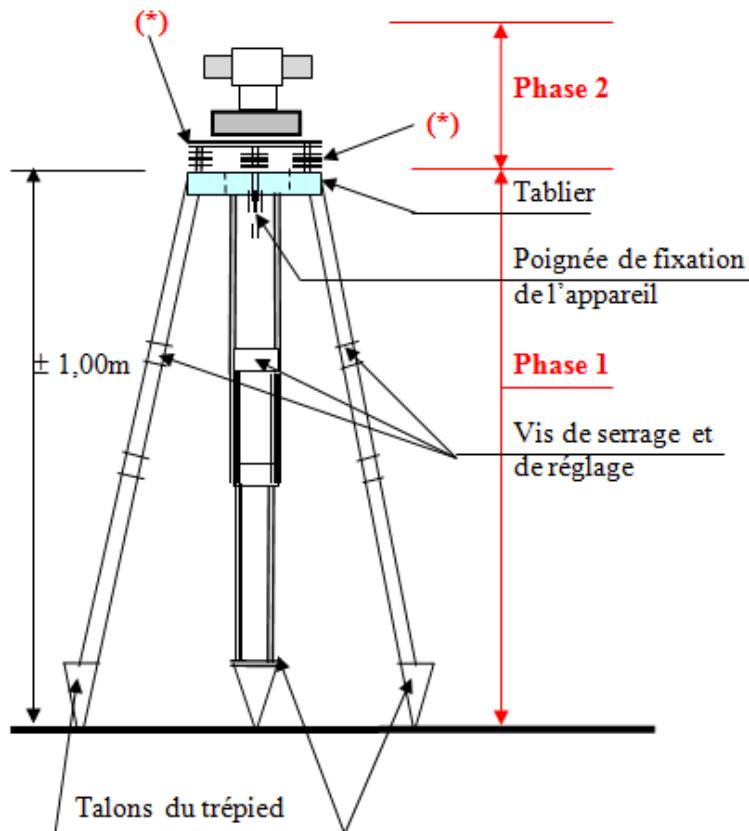


Figure 58: Schéma du niveau (Guichets Energie (Région wallonne), 2013)

REMARQUES IMPORTANTES : ne pas donner de chocs à l'appareil, marcher le moins possible près de l'appareil, faire les opérations utiles et réaliser les réglages de manière délicate.

Lecture des données

Avec le viseur, il faut faire un préréglage sur le jalon de la mire. Il faut ensuite réajuster le niveau en réglant les demi-bulles. Elles doivent être parallèles.

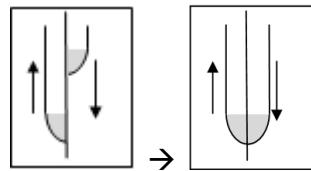


Figure 59: Représentation du réglage des demi-bulles (Guichets Energie (Région wallonne), 2013)

Il faut ensuite réaliser une mesure d'angle horizontal en regardant dans l'alidade horizontale. Les valeurs obtenues sont en degrés. Le total équivaut à 360°.

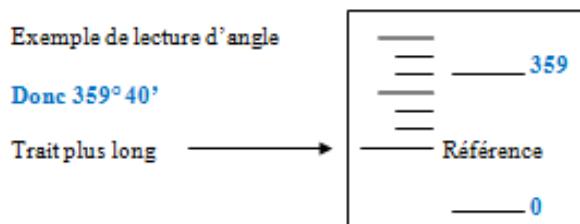


Figure 60: Lecture d'angle (Guichets Energie (Région wallonne), 2013)

Ensuite, nous pouvons réaliser la lecture de la hauteur via la mire parlante.

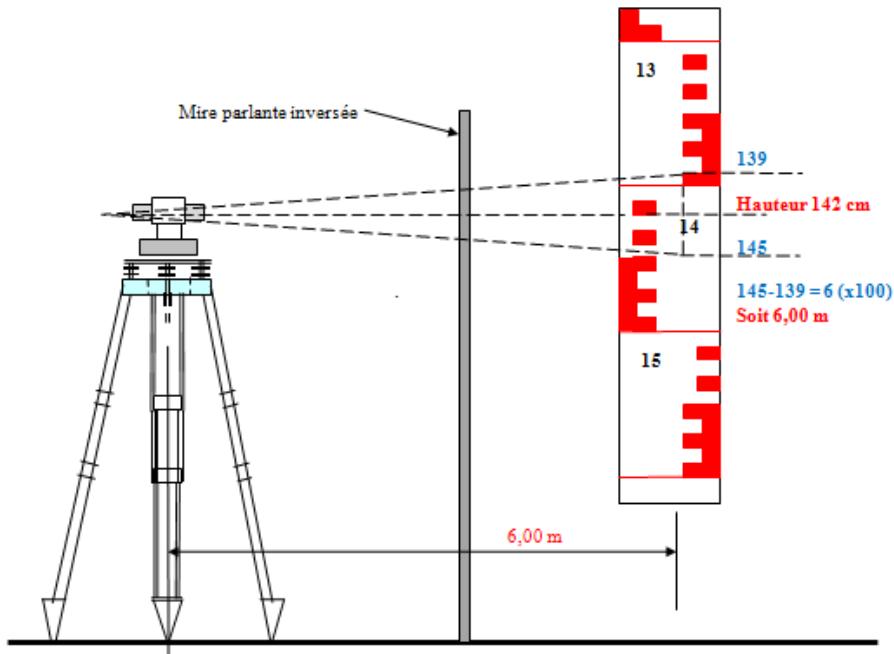


Figure 61: Schéma de la lecture sur la mire parlante (Guichets Energie (Région wallonne), 2013)



Figure 62: Partie droite du niveau (Guichets Energie (Région wallonne), 2013)

Tableau 17: Légende de la partie droite du niveau

1	Lecture de l'alidade horizontale
2	Réglage de netteté
3	Réglage focal
4	Viseur
5	Lunette
6	Réglage fin horizontalité de l'appareil (demi-bulles/lecture)
7	Vis de réglage de la mise à niveau
8	Réglage fin de l'angle horizontal par rapport au jalon repère
9	Blocage de la lunette sur l'axe horizontal (Attention serrer légèrement les vis de serrage)



Figure 63: Partie gauche du niveau

Tableau 18: Légende de la partie gauche du niveau

1	Lunette
2	Viseur
3	Réglage miroir (lumière demi-bulles)
4	Vue demi-bulles (réglage horizontal fin)
5	Vis de réglage de la mise à niveau de l'appareil
6	Réglage fin horizontalité de l'appareil (bulle sphérique/mise en station)

Tableau 19: Mesures de niveau du profil du cours d'eau en aval de la chute (31/03/2017)

Relevés de niveau du profil du cours d'eau (31/03/2017)									
Niveau RF	Angle Horizontal	Fil milieu	Fil haut	Fil bas	Déférence d'angle % RF	Hauteur	FH-FM	FM-FB	Somme (distance niveau par rapport à la mire)
1 100.00	243.00	227.25	224.70	229.80	0.00	0.00	-2.55	-2.55	-5.10
2	246.00	363.00	361.00	365.00	-3.00	-135.75	-2.00	-2.00	-4.00
3	171.00	219.50	217.20	221.80	72.00	7.75	-2.30	-2.30	-4.60
4	139.00	206.00	201.70	210.20	104.00	21.25	-4.30	-4.20	-8.50
5	134.00	207.50	204.00	211.00	109.00	19.75	-3.50	-3.50	-7.00
6	130.00	210.00	206.50	213.40	113.00	17.25	-3.50	-3.40	-6.90
7	134.00	216.50	213.50	219.50	109.00	10.75	-3.00	-3.00	-6.00
8	120.00	124.20	122.20	126.20	123.00	103.05	-2.00	-2.00	-4.00
9	150.00	216.20	214.00	218.50	93.00	11.05	-2.20	-2.20	-4.50
10	234.00	227.50	225.70	229.30	9.00	-0.25	-1.80	-1.80	-3.60
11	245.00	361.00	359.50	362.50	-2.00	-133.75	-1.50	-1.50	-3.00
12	243.00	225.50	224.40	226.60	0.00	1.75	-1.10	-1.10	-2.20
13	249.00	351.30	350.00	352.60	-6.00	-124.05	-1.30	-1.30	-2.60
14	Problèmes de lecture				227.25	0.00	0.00	0.00	0.00
15					227.25	0.00	0.00	0.00	0.00
16	267.00	382.00	380.50	383.50	-24.00	-154.75	-1.50	-1.50	-3.00
17	275.00	354.80	352.80	356.60	-32.00	-127.55	-2.00	-1.80	-3.80
18	265.00	332.00	329.50	334.50	-22.00	-104.75	-2.50	-2.50	-5.00
19	284.00	292.80	289.20	296.10	-41.00	-65.55	-3.60	-3.30	-6.90

Tableau 20: Mesures de niveau du profil du cours d'eau en amont de la chute (17/05/2017)

Relevés de niveau du profil du cours d'eau (17/05/2017)						
Niveau RF	Angle horizontal	Fil milieu	Fil haut	Fil bas	Différence d'angle % RF	Hauteur
1	100.00	130.50	175.90	167.90	183.90	0.00
2	129.50	313.00	305.00	321.00	1.00	-137.10
3	128.00	173.00	164.00	182.00	2.50	2.90
4	127.40	309.80	301.20	318.20	3.10	-133.90
5	123.50	168.50	160.00	177.00	7.00	7.40
6	124.00	263.20	254.90	271.80	6.50	-87.30
7	134.50	242.70	236.20	249.00	-4.00	-66.80
8	145.50	246.50	241.00	252.00	-15.00	-70.60
9	164.50	265.70	261.00	270.30	-34.00	-89.80
10	219.00	290.90	285.80	296.10	-88.50	-115.00
11	231.55	300.50	294.50	306.50	-101.05	-124.60
12	261.00	303.00	293.00	313.00	-130.50	-127.10
13	281.00	340.00	330.00	350.00	-150.50	-164.10
						-10.00
						-10.00
						-20.00
						-20.00

F) Exemples de consommation typique d'appareils électroménagers

	Type d'appareil	Gamme de Puissances de l'appareil		Puissance de l'appareil	Période d'utilisation	Fréquence d'utilisation	Consommation annuelle moyenne* en kWh	Coût annuel en €
Froid	Conditionnement d'air	2000 W	10000 W	6000 W	60 jours	5h/jour	1800	450
	Congélateur armoire (250L) label A+++	130 W	190 W	160 W	365 jours	24h/jour	201	50,25
	Congélateur armoire (250L) label A	250 W	300 W	275 W	365 jours	24h/jour	326	81,5
	Frigo combi (250L) label A+++	150 W	200 W	175 W	365 jours	24h/jour	132	33
	Frigo combi (250L) label A++	230 W	270 W	250 W	365 jours	24h/jour	244	61
	Frigo combi (250L) label A+	250 W	300 W	275 W	365 jours	24h/jour	281	70,25
Loisir	TV Plasma en fonctionnement	170 W	380 W	275 W	335 jours	4h/jour	369	92,25
	TV Plasma en veille	0,3 W	0,8 W	1 W	365 jours	20h/jour	4	1
	TV LCD grand écran en service label A+	60 W	90 W	75 W	335 jours	4h/jour	101	25,25
	TV LCD grand écran en veille	0,2 W	1 W	1 W	365 jours	20h/jour	4	1
	TV tube cathodique en fonctionnement	70 W	110 W	90 W	335 jours	4h/jour	121	30,25
	TV tube cathodique en veille	4 W	10 W	7 W	365 jours	20h/jour	51	12,75
	TV LCD en service (diagonale 100 cm) label A+	40 W	65 W	53 W	335 jours	4h/jour	70	17,5
	TV LCD en veille	1 W	3 W	2 W	365 jours	20h/jour	14	3,5
	Radio sur secteur	15 W	30 W	23 W	335 jours	4h/jour	30	7,5
	Ordinateur (UC+écran plat) en fonctionnement	100 W	160 W	130 W	335 jours	4h/jour	174	43,5
	Ordinateur (UC+écran plat) en veille	25 W	35 W	30 W	365 jours	20h/jour	219	54,75
	Chargeur de gsm	6W	8W	7 W	365 jours	1h/jour	1	0,25
	Boîtier Wifi TV téléphone	15 W	30 W	23 W	365 jours	24h/jour	197	49,25
Entretien du linge	For à repasser	1400 W	2200 W	1800 W	48 semaines	5 h/semaine	432	108
	Machine à laver label A+++ (7kg)	2000 W	2500 W	1,4 W	48 semaines	4 cycles/semaine	160	40
	Machine à laver label A+ (couleur 60°C)	2000 W	2200 W	0,9 W	48 semaines	4 cycles/semaine	230	57,5
	Machine à laver label A+ (couleur 30°C)	2000 W	2200 W	0,5 W	48 semaines	4 cycles/semaine	210	52,5
	Sèche-Linge label A	2500 W	3000 W	0,3 W	32 semaines	2 cycles/semaine	17	4,25
	Sèche-Linge label B	2500 W	3000 W	3,4 W	32 semaines	2 cycles/semaine	215	53,75
	Machine à coudre	70 W	100 W	85 W	48 semaines	1 h/semaine	4	1

Figure 64: Consommations annuelles de différents appareils ménagers (1) (Centre Urbain asbl, n.d.)

Entretien habitat	Aspirateur avec Sac	750 W	1200 W	975 W	48 semaines	2 h/semaine	94	23,5
Toilette	Sèche cheveux	1000 W	2500 W	1750 W	48 semaines	30 min/semaine	42	10,5
	Rasoir électrique	8 W	12 W	10 W	335 jours	5 min/jour	0,28	0,07
Éclairage	Lampe halogène sur pied	150 W	500 W	300 W	335 jours	5h/jour	503	125,75
	Aquarium	100 W	300 W	100 W	365 jours	24h/jour	876	219
	Ampoule économique classe A	25 W	100 W	12 W	335 jours	3h/jour	12	3
	Ampoules à incandescence classique	25 W	100 W	60 W	335 jours	3h/jour	60	15
	Lampadaire avec lampe économique	5 W	25 W	15 W	335 jours	5h/jour	25	6,25
Cuisine	Cuisinière: four électrique classique	8000 W	10000 W	9000 W	335 jours	35 min/jour	1759	439,75
	Lave-vaisselle classe A+++	1000 W	1400 W	0,9 W	48 semaines	5 cycles/semaine	216	54
	Lave-vaisselle classe A+	1000 W	1400 W	1,4 W	48 semaines	5 cycles/semaine	336	84
	Four petite taille	2000 W	2500 W	2250 W	48 semaines	1,5 h/semaine	162	40,5
	Four micro-ondes	750 W	1500 W	1125 W	48 semaines	1,5 h/semaine	81	20,25
	Friteuse	1500 W	2500 W	2000 W	48 semaines	,5 h/semaine	48	12
Cuisine (suite)	Grille-viande	1500 W	2500 W	2000 W	48 semaines	10 min/semaine	16	4
	Cafetière	500 W	1500 W	1000 W	335 jours	10 min/jour	56	14
	Gaufrier	800 W	1200 W	1000 W	15 jours	1h/jour	15	3,75
	Grille-pain	750 W	1000 W	875 W	48 semaines	15 min/semaine	11	2,75
	Mixer/mixeur soupe	100 W	150 W	125 W	48 semaines	10 min/semaine	1	0,25
	Hotte	70 W	150 W	110 W	335 jours	40 min/jour	25	6,25
Eau chaude	Boiler 100 l (tarif bi-horaire)	2000 W	2500 W	2250 W	365 jours	80 L/jour	1695	423,75
	Boiler 5l, sous évier (tarif unique)	2500 W	2500 W	2500 W	365 jours	10 L/jour	212	53
Chaudage	Circulateur chauffage central (permanent)	40 W	60 W	50 W	240 jours	24h/jour	288	72
	Circulateur chauffage central (non-permanent)	40 W	60 W	50 W	240 jours	6h/jour	72	18
	Circulateur classe A	52 W	78 W	65 W	240 jours	2h/jour	31	7,75
	Appoint électrique	1000 W	3000 W	2000 W	240 jours	30 min/jour	240	60
Divers	Radio-réveil	3 W	6 W	5 W	365 jours	24h/jour	39	9,75
	Tondeuse électrique	1000 W	1500 W	1250 W	32 semaines	1 h/semaine	40	10

Remarque : Ces consommations sont des consommations moyennes évaluées sur la base de puissances réelles moyennes, et non sur des puissances mesurées sur place.

* Coût électricité tarif unique/jour/nuit confondu en Province du Luxembourg: 0,25 €/kWh

** Pour le réfrigérateur, la puissance utilisée varie au cours de la journée. Les données reprises pour l'évaluation de la consommation énergétique sont celles qui figurent sur la fiche technique de l'appareil. Voir www.topten.be.

*** Pour le lave-linge, la puissance varie au cours du cycle. Les données reprises pour l'évaluation de la consommation énergétique sont celles qui figurent sur la fiche technique de l'appareil. Voir www.topten.be

**** Pour l'eau chaude, la formule de calcul est la suivante : besoin = 80 l/jour à 60°C. Puissance calorifique de l'eau = 1,16 kWh/m3.°K. T° eau à l'entrée = 10°C. Consommation = 0,08 x 1,16 x 50 x 335 = 1554 kWh

Figure 65: Consommations annuelles de différents appareils ménagers (2) (Centre Urbain asbl, n.d.)

EXEMPLE DE CONSOMMATION D'APPAREILS ELECTRIQUES EN MODE "VEILLE"			
Prix du kWh au tarif jour/nuit en Province du Luxembourg en € :	0,25 €		
	Consommation en mode veille (WATT)	Consommation annuelle (KWh)	Coût annuel en € au tarif
cuisine			
machine à café	0,5	4,38	1,10 €
machine à café senseo	1	8,76	2,19 €
four à pain	1,8	15,77	3,94 €
micro-ondes	1,8	15,77	3,94 €
four	1,8	15,77	3,94 €
buanderie			
machine à laver en veille	3,1	27,16	6,79 €
machine à laver branchée	0,8	7,01	1,75 €
sèche linge en veille	3,1	27,16	6,79 €
sèche linge en veille porte ouverte	17,4	152,42	38,11 €
sèche linge branché	0,7	6,13	1,53 €
salon			
tv	1,3	11,39	2,85 €
decodeur	12,1	106,00	26,50 €
lecteur dvd	10,2	89,35	22,34 €
téléphone	1,5	13,14	3,29 €
micro chaine	0,7	6,13	1,53 €
bbox belgacom + prise CPL (internet via réseau électrique)	3,9	34,16	8,54 €
salle de bain			
chargeur brosse à dent en charge			
chargeur brosse à dent oublié	1	8,76	2,19 €
sèche cheveux branché	0,8	7,01	1,75 €
chambres			
chevet avec transformateur	0,6	5,26	1,31 €
chevet sans transfo	0		
réveil électronique	1,8	15,77	3,94 €
appareil anti-moustique	5,5	48,18	12,05 €
pc portable batt oubliée seule	0,5	4,38	1,10 €
pc portable batt oubliée + pc pas en charge	1,8	15,77	3,94 €
chargeur gsm en charge ou oublié avec gsm	5	43,80	10,95 €
bureau			
1 ordi+1 écran + lampe transfo + CPL	13	113,88	28,47 €
prise CPL (internet via réseau électrique)	2,4	21,02	5,26 €
imprimante "domestique" en veille	3,1	27,16	6,79 €
imprimante branchée mode veille	11,8	103,37	25,84 €
imprimante branchée allumée	30	262,80	65,70 €
	TOTAL	1218	304 €

Figure 66: Consommation annuelle d'appareils électriques en mode « veille » (Centre Urbain asbl, n.d.)

G) Sites d'anciens moulins réhabilités en Province de Luxembourg

Tableau 21: Anciens moulins réhabilités en Province de Luxembourg

Puissance nette dév (kW)	Hauteur de chute (m)	Débit nominal (m ³ /s)	Adresse centrale	ZipCode	Commune	Bassin	Sous-bassin	Cours d'eau	Catégorie
32			Moulin de Bardonwez 2	6987 RENDEUX	Meuse	Ourthe	Ourthe	V/N	CENN1
25			Rue du Moulin 85	6921 CHANLY	Meuse	Lesse	Lesse		CENN3
22			Rue du Berchivé, 1	6769 GEROLVILLE	Meuse	Semois-Chiers	Chavratte		CENN3
15	3.0	1.0	Rue du moulin 11	6769 MEIX-DEVANT-VIRTON	Meuse	Semois-Chiers	Ton		CENN1
10			Cobru, 292	6600 Bastogne	Meuse	Ourthe			CENN3
10			Rue Ballet Latour, 16	6761 Virton	Meuse	Semois-Chiers	Tan Vire la Fa		CENN1
10			Mohimont	6823 Villers-Devant-Orval	Meuse	Semois-Chiers			CENN nc
10			Moulin d'en Bas	6870 SAINT-HUBERT	Meuse	Lesse	R de Poix		CENN3
10			Rue de la Lhomme	6870 Saint-Hubert	Meuse	Lesse	Lhomme		CENN1
10			Route de Virton	6747 Saint-Léger	Meuse	Semois-Chiers			CENN2
9			Rue de la Cuvanne, 284	6730 Rossignol	Meuse	Semois-Chiers			CENN2
9			Rue de Maou 60	6721 Anlier	Meuse	Semois-Chiers	Ruisseau d'Arc		CENN3
8			Route de la Soye, 75	6769 Meix-devant-Virton	Meuse	Semois-Chiers			CENN2
6			Hollange 5	6637 Hollange	Rhin	Moselle	La Strange		CENN2
6			Rue Sart-Hennard, 113	6692 Petit-Thier	Meuse	Amblève			CENN nc
6			Rue Béthomont, 311	6687 Bertogne	Meuse	Ourthe			CENN nc
5.5			Rue de Virton 37	6769 Meix-Devant-Virton	Meuse	Semois-Chiers	La Chavratte		CENN2
6			Berismeril, 5	6982 Samrée	Meuse	Ourthe			CENN nc
5			Cobru 3	6600 Noville (Bastogne)	Meuse	Ourthe	Ruisseau de l'		CENN2
5			Rue de Nouwely, 68	6880 Jéhonville	Meuse	Lesse			CENN nc
5.0	0.9	2.6	Chemin de Lavaux 1	6927 Tellin (Grupont)	Meuse	Lesse	La Lhomme		CENN1
5	1.5	0.8	Rue du Moulin, 143A	6927 Restigné	Meuse	Lesse	Lesse		CENN1
5	2.5	0.4	Aisne 66	6941 Heyd	Meuse	Ourthe	Aisne		CENN1
5	4	0.2	Moulin du Pré Motré	6890 Redu	Meuse	Lesse	sans nom		CENN nc
4			Rue du Moulin, 1	6630 Martelange	Rhin	Moselle			CENN1
4			Rue Moulin Lemaire, 1	6663 Mabompré	Meuse	Ourthe	Ourthe Orient		CENN1
3	2.25	0.12	Wezelvaux 148	6890 Libin (Villance)	Meuse	Lesse	Ruisseau de la		CENN2
2.6			Rue du Rachecourt 113	6782 Habergy	Meuse	Semois-Chiers	Ruisseau Hivé		CENN3
2.5	7.1	0.049	Rue du Meunier	6730 Tintigny	Meuse	Semois-Chiers	Ruisseau de l'		CENN3
2			Rue des Moulins de Harre 1	6960 Manhay	Meuse	Ourthe	De l'Heid ruis		CENN3
2			Rue de l'Espinette, 16	6990 Hotton	Meuse	Ourthe			CENN3

H) Prix de la turbine Lynx



TVA: 20%

Tarif Public C - 2015

Turbine Lynx avec Générateur 800 watts - (diamètre extérieur : 25 cm) monophasé 240 Volts

Puissance Nominale Watts	Caractéristiques techniques Hauteur de chute: 1,2 à 2 m	Débit :	Prix Vente Public HT	TVA (20,0%)	TTC	Délais indicatifs
800 Watts	Monophasée 240 v.	50 à 70 l/s	1 660 €	332 €	1 992 €	2 mois

Boitier et armoires électroniques de régulation et couplage au réseau

Les normes locales peuvent imposer un relai de découplage réseau conforme aux prescriptions locales qui n'est pas inclus

Dénomination	Caractéristiques techniques	Prix Vente Public HT	TVA (20 %)	TTC	Délais indicatifs
Boitier de régulation et couplage	Pour turbine Lynx, Monophasée 240v.	650 €	130 €	780 €	2 mois

Ces informations proviennent d'un document envoyé par le bureau d'étude Merytherm.

Résumé

Actuellement, la Wallonie possède un potentiel important au niveau des anciens sites hydrauliques. En effet, le projet Européen, « Restor Hydro », a recensé plus de 2500 sites d'anciens moulins. Le présent travail a pour but d'étudier la possibilité de mettre en place une petite installation hydraulique chez un particulier en vue d'assurer son autonomie énergétique.

Pour y arriver différents points ont été abordés. Dans un premier temps, la législation applicable à la réhabilitation de sites hydrauliques a été expliquée. En deuxième lieu, il a fallu trouver la technologie la plus adaptée en tenant compte des besoins électriques de l'habitation, de la topographie du cours d'eau ainsi que du débit et de la hauteur de chute brute. L'ensemble de ces informations a permis de nous orienter vers la pico-turbine Lynx.

Pour conclure, une estimation du potentiel électrique ainsi que du potentiel économique du site a été réalisée. Pour y arriver, 3 cas ont été considérés. Ils ont permis de mettre en avant une plage de puissance électrique et de production électrique en fonction de différentes hypothèses. Dans le meilleur des cas, ce même type de site pourrait assurer l'autonomie électrique d'un ménage moyen wallon. Malgré des inconvénients, il reste une solution efficace pour lutter contre le changement climatique, profiter de sa propre électricité et ainsi avancer vers l'autonomie électrique.

Mots clés : Restor Hydro, petite installation hydraulique, législation applicable à la réhabilitation de sites hydrauliques, pico-turbine Lynx et autonomie électrique.

Abstract

Currently, Wallonia has got a significant potential about former hydro sites. Indeed, the European project, 'Restor Hydro', has identified more than 2,500 sites of old mills. The present work studies the possibility to set up a small hydraulic installation in a private home to ensure its own energy.

To achieve this, different points have been addressed. First, the law on the rehabilitation of hydro sites was explained. Secondly, we had to find the most suitable technology taking into account the electrical needs of the house, the topography of the watercourse and the flow and gross height. All of this information led us to the pico-turbine Lynx.

Finally, an estimation of the electric potential and the economic potential of the site was carried out. To get there, 3 cases have been considered. They have to put forward a range of electric power and electrical production based on different assumptions. In the best case, this same type of site might ensure that Walloon average household electric. Despite drawbacks, there is an effective solution to struggle climate change, take advantage of its own electricity and thus move towards electric range.

Key words: Restor Hydro, small hydraulic installation, the law on the rehabilitation of hydro sites, pico-turbine Lynx and electric range.

.