

Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

Travail de Bachelor Diplôme 2019

Marie Musolla

*Turbinage des eaux usées du Haut-Plateau
de Crans-Montana*

■ Professeur
Cécile Münch-Alligné

■ Expert
Michel Barras

■ Date de la remise du rapport
16.08.2019

SYND	ETE	TEVI
X	X	X

Filière / Studiengang ETE	Année académique / Studienjahr 2018/19	No TD / Nr. DA er/2019/
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution	Etudiant / Student Marie Musolla Professeur / Dozent Cécile Münch-Alligné	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) Michel Barras Energies Sion Région, Rue de l'Industrie 43, 1951 Sion	

Titre / Titel

Turbinage des eaux usées du haut-plateau - Crans Montana

Description / Beschreibung

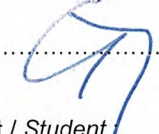
La Commission Energie de Crans-Montana propose d'évaluer le potentiel du Haut-Plateau sur une valorisation possible de ses eaux usées. L'objectif est de dresser un état des lieux des installations existantes ainsi que d'éventuelles réflexions déjà menées sur ce sujet, puis d'évaluer la faisabilité technique en prenant en compte les contraintes d'exploitation et les projets d'investissements déjà en cours ou planifiés. Pour finir, une approche économique succincte devra être dressée intégrant l'investissement, la commercialisation de l'énergie produite et les programmes d'encouragement qui accompagnent ce type de réalisation.

Les différentes étapes de ce projet seront les suivantes :

- Etat de l'art sur le turbinage des eaux usées
- Récolte des informations pour le futur site
- Estimation du potentiel hydroélectrique
- Pré-dimensionnement de la centrale
- Estimation des coûts
- Estimation de la rentabilité de l'aménagement.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Responsable de l'orientation / filière
Leiter der Vertiefungsrichtung / Studiengang:

.....


¹ Etudiant / Student

.....


Délais / Termine

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:
13.05.2019Présentation intermédiaire / Zwischenpräsentation
13 – 14.06.2019Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:
16.08.2019, 12:00Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten:
28, 29 – 30.08.2019Défense orale / Mündliche Verfechtung:
02 – 05.09.2019

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.

Turbinage des eaux usées du Haut-Plateau – Crans-Montana

Diplômant/e Marie Musolla

Objectif du projet

Ce projet a pour objectif d'exploiter le potentiel énergétique des réseaux d'eaux usées de la commune de Crans-Montana, en prenant en compte les contraintes techniques, géographiques et économiques présentes sur le site.

Méthodes | Analyses | Résultats

Le réseau des eaux usées de Crans-Montana se compose de 3 branches principales qui mènent les eaux à la STEP de Noës. Les conduites le composant ne permettent pas de mise en charge. Après une analyse du réseau des eaux usées, 6 variantes ont été identifiées. Toutes les variantes sont considérées avant la STEP, car cette dernière se trouve en plaine. Parmi ces 6 variantes, 4 ont été retenues pour une étude approfondie, car deux d'entre elles ne permettent pas l'installation d'une turbine adéquate. L'analyse est effectuée en prenant en compte la mise en place de nouvelles conduites, de bassins de prétraitements et de turbines. Cette analyse prend en compte les coûts d'investissement, le revenu annuel, le bénéfice, le prix de revient du kWh et le prix de vente, qui est calculé sur la base du Système de Rétribution à l'Injection (SRI) sur une durée de 15 ans. Les coûts d'exploitation ne sont pas pris en compte.

De cette analyse ressortent deux variantes rentables, soit celle de Chermignon et Montana et de Montana-Village, avec une puissance hydraulique de 255 et respectivement 252 kW et une énergie théorique de 2'043 respectivement 1'575 kWh/an.

Variantes		Chermignon-Montana	Montana Village
Débit d'équip.	[m ³ /s]	0.08	0.04
Chute nette	[m]	329	654
Longueur conduite	[km]	2.1	2.7
Puissance hydraulique	[kW]	255	252
Production annuelle	[kWh/an]	2'043	1'575
Coût investissement	[kCHF]	2'809	2'457
Temps de retour	[ans]	12.3	13.9
Prix de revient	[cts/kWh]	11.14	12.82

Tableau récapitulatif des variantes potentiellement rentables.



- 1. Randogne 1
- 2. Randogne 2
- 3. Cherm. Et Mont.
- 4. Montana-Village
- 5. Montana 1
- 6. Montana 2

Situation des 6 variantes avec le tracé des conduites et l'emplacement des bassins de mise en charge. Les variantes retenues sont les numéros 3 et 4.

Travail de diplôme
| édition 2019 |

Filière

Energie et Techniques
Environnementales

Domaine d'application
Energies Renouvelables

Professeur responsable
Cécile Münch-Alligné
cecile.muench@hevs.ch

Partenaire

Association des communes de
Crans Montana (ACCM)
Michel Barras

Table des matières

1.	Introduction.....	6
1.1.	Contexte	6
1.2.	Objectifs.....	6
1.3.	Cahier des charges.....	7
1.4.	Méthodologie	7
2.	Etat de l’art.....	8
2.1.	Caractéristiques d’une petite centrale.....	8
2.1.1.	Sur le réseau d’eaux potables	8
2.1.2.	Sur le réseau d’eau usée.....	9
2.1.3.	Aspects techniques d’une centrale d’EU	10
2.1.4.	Problématique spécifique au réseau d’EU	11
2.2.	Centrales sur EU existantes	12
2.3.	Exemples de turbinage d’EU	15
2.3.1.	As Samra	15
2.3.2.	Esholt	15
2.3.3.	Leysin	16
2.3.4.	Nyon	16
2.3.5.	Profray	17
2.4.	Potentiel hydroélectrique sur les réseaux d’EU	18
3.	Cas d’étude : Commune de Crans-Montana	21
3.1.	Contexte	21
3.1.1.	Réseau d’EU.....	21
3.1.2.	Infrastructures existantes et futures.....	22
3.1.3.	STEP de Noës	23
3.2.	Variantes identifiées.....	24
3.2.1.	Variante 1 : Randogne 1	25
3.2.2.	Variante 2 : Randogne 2	26
3.2.3.	Variante 3 : Montana-Village.....	27
3.2.4.	Variante 4 : Chermignon et Montana.....	28
3.2.5.	Variante 5 : Montana 1.....	29
3.2.6.	Variante 6 : Montana 2.....	30
3.2.7.	Synthèse	31
3.3.	Hydrologie	31
3.3.1.	Tendances annuelles	32

3.3.2.	Tendances régions de montagne	34
3.3.3.	Courbes de débits classés.....	35
4.	Dimensionnement préliminaire	37
4.1.	Choix du débit d'équipement.....	37
4.2.	Caractéristique des conduites	37
	Choix des matériaux	37
	Pertes de charge.....	38
	Calcul du diamètre économique	39
	Synthèse	40
4.3.	Turbine	41
4.4.	Bassin de décantation et de mise en charge.....	43
4.5.	Dégrilleur	44
4.6.	Autre équipement	44
4.7.	Calcul de production	46
5.	Analyse économique	48
5.1.	Investissement.....	48
5.2.	Chiffre d'affaire	50
5.3.	Rentabilité	51
6.	Synthèse et perspectives.....	52
7.	Bibliographie.....	53

Liste des figures

Figure 1 : Mix énergétique en Suisse: [1]	6
Figure 2: Illustration de la méthodologie	8
Figure 3 : Planning du travail Bachelor.....	8
Figure 4 : Schéma de principe de turbinage sur le réseau EP	9
Figure 5 : Centrale de turbinage avant épuration [3].....	10
Figure 6 : Centrale de turbinage après épuration [3].....	10
Figure 7 : Centrales de turbinage d'EU dans le monde et leurs puissances.....	13
Figure 8 : Turbinage des eaux usées en Suisse [3] [8] [9] [10]	14
Figure 9 : Turbines Pelton à axe vertical (gauche) et Francis à axe horizontal (droite) [12]	15
Figure 10 : Installation d'Esholt [14].....	16
Figure 11 : Centrale de Leysin [12]	16
Figure 12 : Pompe inversée de la centrale de Nyon (1993) [12]	17
Figure 13 : Principe et photos de l'installation de Profray	18
Figure 14 : Potentiel de turbinage des EU en Suisse avant (droite) et après STEP (gauche) [3].....	19
Figure 15 : Potentiel de turbinage lors de la réunion de petites STEP [3]	19
Figure 16 : Variante d'implantation des installations sur la commune de Montana [12]	20
Figure 17 : Caractéristique des variantes de turbinage [12]	20
Figure 18 : Réseau principal d'eaux usées de la STEP de Noës	21
Figure 19 : Bassin tampon (a) et BEP de Randogne (b)	22
Figure 20 : bassin tampon (gauche) et bassin d'eaux pluviales (droite)	22
Figure 21 : Arrivée des vis d'Archimède (gauche) et dégrilleurs (droite) (1).....	23
Figure 22 : Bassin de dessablage et déshuilage (2)	23
Figure 23 : Tamiseurs (3)	23
Figure 24 : Décanteurs primaires (4)	24
Figure 25 : Traitement biologique (5).....	24
Figure 26 : STEP de Noës	24
Figure 27 : Tracé des conduites sur la commune de Crans-Montana.....	25
Figure 28 : Implantation du bassin pour Randogne 1	25
Figure 29 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin de Randogne 1	26
Figure 30 : Profil en long - Randogne 1	26
Figure 31: Implantation du bassin pour Randogne 2	26
Figure 32 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Randogne 2 ¹	27
Figure 33 : Profil en long - Randogne 2	27
Figure 34: Implantation du bassin pour Montana-Village.....	27
Figure 35 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Montana-Village ¹	28
Figure 36 : Profil en long - Montana- Village.....	28
Figure 37: Implantation du bassin pour Chermignon et Montana.....	28
Figure 38 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Chermignon et Montana ¹	29
Figure 39 : Profil en long de la conduite de Chermignon et Montana.....	29
Figure 40: Implantation du bassin pour Montana 1.....	29
Figure 41 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Montana 1 ¹	30
Figure 42 : Profil en long - Montana 1.....	30
Figure 43: Implantation du bassin pour Montana 2.....	30
Figure 44 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Montana 2 ¹	31
Figure 45 : Profil en long - Montana 2.....	31
Figure 46 : Emplacement de débitmètres	32

Figure 47 : Débits horaires pour Chermignon	33
Figure 48 : Débits horaires pour Montana	33
Figure 49 : Débits horaires pour Randogne.....	33
Figure 50 : Débits des communes en 2017	34
Figure 51 : Débits des communes en 2011	34
Figure 52: Courbe de débits classés pour Chermignon	35
Figure 53: Courbe de débits classés pour Montana	36
Figure 54: Courbe de débits classés pour Randogne	36
Figure 55 : Courbe de débits classés après la jonction de Chermignon et Montana.....	36
Figure 56 : Coefficient de perte de charge singulière [21]	39
Figure 57 : Coefficient de perte de charge singulière [22]	39
Figure 58 : Plage de fonctionnement des turbines [23] [22] [24] [25] [26]	41
Figure 59 : Equations pour le dimensionnement d'une turbine Pelton [22]	42
Figure 60 : Equations pour le dimensionnement des augets [22]	42
Figure 61 : Exemple de dégrilleur RakeMax®	44
Figure 62: Emplacement de la centrale:.....	45
Figure 63 : Exemple de vanne papillon avec réducteur à volant [29] et de vanne sphérique [30]	45
Figure 64 : Taux de frais annuels pour l'entretien [31]	46
Figure 65 : Calcul des puissances après la jonction de Chermignon et Montana	47
Figure 66: Répartition des coûts pour Randogne 1.....	49
Figure 67 : Répartition des coûts pour Randogne 2.....	49
Figure 68 : Répartition des coûts pour Chermignon et Montana	50
Figure 69 : Répartition des coûts pour Montana-Village	50

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des centrales de turbinage des eaux usées dans le monde [5]	12
Tableau 2 : Caractéristiques des turbines suisses sur EU.....	13
Tableau 3 : Synthèse des différentes variantes.....	31
Tableau 4 : Débits d'équipement de chaque variante	37
Tableau 5 : Dimensions et variables des conduites.....	40
Tableau 6: Avantages et inconvénients des turbines [27]	41
Tableau 7 : Variables et valeurs de dimensionnement des turbines pour les trois variantes retenues.....	43
Tableau 8 : Volume des bassins pour chaque variante	44
Tableau 9 : Variantes d'implantation des bassins	47
Tableau 10 : Production d'énergie comparée à la consommation des habitants [32]	47
Tableau 11 : Devis des turbines de l'entreprise Mhylab	48
Tableau 12 : Détails des coûts d'investissements	49
Tableau 13 : Chiffre d'affaire en fonction de la rétribution à l'injection	50
Tableau 14 : Rentabilité des différentes variantes.....	51

Nomenclature

Symbole	Unité	Définition
<i>Abréviations</i>		
BEP		Bassin d'Eaux Pluviales
OR		Déversoir d'orage
EP		Eaux Potables
EU		Eaux Usées
STEP		Station d'Épuration
PCH		Petite Centrale Hydraulique
SRI		Système de Rétribution à l'Injection
PE		Polyéthylène
PUR		Polyuréthane
<i>Variables</i>		
$\sum_{linéaires} H_r$	[m]	Somme des pertes linéaires
$\sum_{singulières} H_r$	[m]	Somme des pertes singulières
λ	[-]	Coefficient de perte de charges reg.
L	[m]	Longueur de la conduite
C	[m/s]	Vitesse d'écoulement
D_h	[m]	Diamètre hydraulique
g	[m/s ²]	Force de gravité
ξ	[-]	Coefficient de perte de charges sing.
Re	[-]	Nombre de Reynolds
K	[mm]	Coefficient de rugosité de la conduite
ρ	[kg/m ³]	Masse volumique
μ	[Pa*s]	Coefficient de viscosité dynamique
A	[m ²]	Section de la conduite
Q	[m ³ /s]	Débit
η	[%]	Rendement
H_n	[m]	Chute nette
H_b	[m]	Chute brute
C_{ent}	[CHF]	Frais d'entretien
C_{am}	[CHF]	Coûts d'investissement
R_1	[m]	Rayon de la roue
R_2	[m]	Rayon du jet
n	[rpm]	Vitesse de rotation
n_{QE}	[-]	Vitesse spécifique
U	[m/s]	Vitesse d'entraînement
u	[m/s]	Vitesse spécifique
Z_b	[-]	Nombre d'augets
Z_o	[-]	Nombre d'injecteurs
Z_p	[-]	Nombre de pôles
P	[kW]	Puissance
E	[kWh]	Energie

1. Introduction

1.1. Contexte

Grâce à son relief et à son niveau de précipitations moyen, la Suisse est une parfaite candidate pour l'exploitation de la force hydraulique. Cette dernière représente près de 60% de l'électricité produite dans le pays. La Figure 1 représente le mix énergétique pour la production d'énergie en Suisse, selon les chiffres de l'OFEN de 2017 [1].

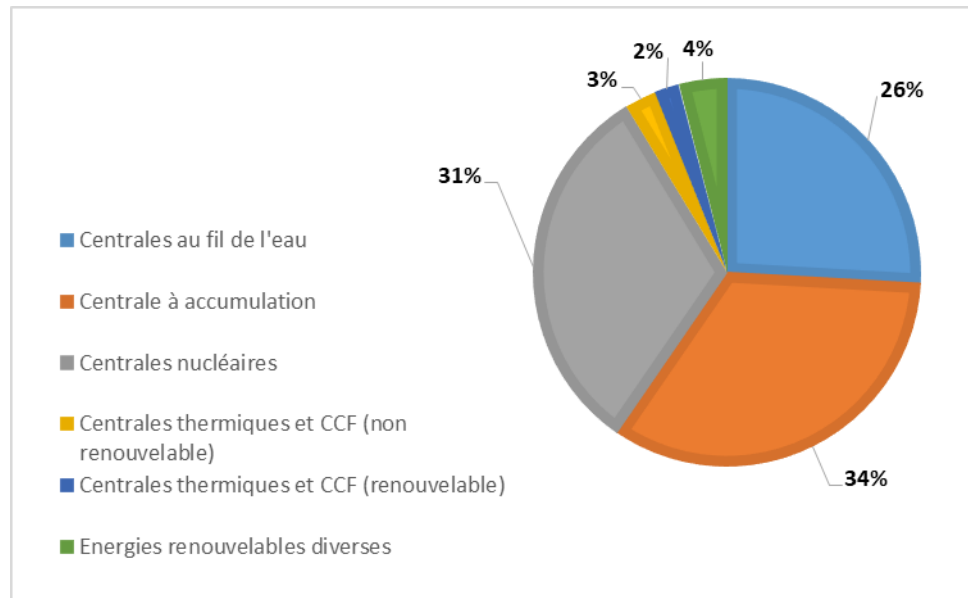


Figure 1 : Mix énergétique en Suisse: [1]

Dans le cadre de la stratégie énergétique 2050, cette production devra augmenter de 1.5TWh à 3 TWh selon l'OFEN. Ce potentiel restant à exploiter réside en grande partie dans le domaine de la Petite Hydraulique, c'est-à-dire des centrales d'une puissance moyenne inférieure à 10MW. Les installations sur les infrastructures existantes comme les réseaux d'eau potable ou des eaux usées sont à considérer en priorité car l'impact sur l'environnement est négligeable et les investissements sont diminués du fait de l'utilisation d'infrastructures existantes. De plus, ces installations peuvent bénéficier du système de rétribution à l'injection (SRI) et doivent suivre les règles de concession. Dans le cas étudié, les eaux utilisées sont sur la commune et sont soumises à l'approbation du Conseil d'Etat [2].

Concernant les Eaux Usées (EU), la consommation totale annuelle d'une Station d'Épuration (STEP) est estimée à 0.5 TWh/an, avec une augmentation prévue de 15% pour le traitement des micropolluants. Les coûts d'exploitation engendrés par les STEP sont donc très élevés, majoritairement à cause de la consommation d'électricité. La récupération de l'énergie produite par les eaux usées pourrait aussi permettre de réduire ces coûts et de se diriger vers leur autonomie énergétique.

1.2. Objectifs

Le présent projet a pour but d'étudier la faisabilité et la rentabilité d'une centrale de turbinage sur le réseau des eaux usées du Haut-Plateau de Crans-Montana. Après avoir étudié l'état de l'art dans le domaine du turbinage des eaux usées et listé les installations existantes dans le monde avec les solutions technologiques installées, le potentiel hydraulique de ce réseau d'eau est évalué. Un dimensionnement de la centrale et des différents éléments la composant, tel que les conduites, les bassins et les turbines, est effectué. Finalement, une partie économique est incluse, comprenant les

coûts d'investissements, la commercialisation de l'énergie produite ainsi que les éventuels programmes d'encouragements pour évaluer la faisabilité du projet. Les projets d'investissement concernant le réseau d'EU déjà en cours ou planifiés sur le Haut-Plateau ainsi que les contraintes d'exploitation des réseaux d'EU sont pris en compte dans l'étude de faisabilité. Ces projets concernent la mise en place d'un réseau séparatif pour les eaux pluviales. Le but final étant d'obtenir une production d'énergie électrique 100% renouvelable, en phase avec la Stratégie 2050, tout en valorisant un rejet.

1.3. Cahier des charges

Suite à l'entretien du 21.05.2019 avec Monsieur Michel Barras, membre du comité énergie de l'Association des Communes de Crans-Montana, à l'origine du projet, le cahier des charges suivant a été fixé :

- Effectuer un état de l'art des installations existantes de turbinage des eaux usées en Suisse et dans le monde ;
- Récolter des informations sur le réseau d'eaux usées du Haut-Plateau ainsi que de la zone d'implantation de la future installation à la STEP de Noës à Sierre ;
- Estimer le potentiel hydroélectrique de la future centrale ;
- Pré-dimensionner la centrale à l'aide des informations à disposition ;
- Estimer les coûts de l'installation ;
- Estimer la rentabilité de l'installation.

1.4. Méthodologie

Les différents aspects à prendre en compte pour cette étude sont d'une part la topographie de la région, les débits disponibles sur les différentes branches du réseau des eaux usées de la commune et de la STEP, l'architecture du réseau des eaux usées, l'analyse des éléments existants pouvant être utilisés pour le turbinage ainsi que les emplacements des prises et rejets d'eaux de la STEP et finalement les bassins de prétraitement. Ceci permet de déterminer l'emplacement le plus favorable des éléments ainsi que celui engageant le moins de contraintes, notamment dans les domaines des transports ou celui du confort des habitants. Le réseau d'EU n'est malheureusement pas très bien répertorié dans la plupart des communes, ce qui rend en général l'évaluation du potentiel difficile. Les eaux usées peuvent être turbinées avant ou après leur passage dans la station. Dans le cas où les eaux sont turbinées avant, un bassin effectuant un dégrillage et dessablage est nécessaire pour évacuer les matières flottantes pouvant endommager la turbine. Une étude doit donc être faite pour déterminer s'il est plus avantageux de placer cette turbine avant ou après la station d'épuration.

Le plan des infrastructures, les données topographiques, hydrologiques et économiques permettront ainsi d'étudier au mieux le potentiel de turbinage des eaux usées des communes du Haut-Plateau ainsi que le dimensionnement de l'installation et d'émettre une première estimation du budget.

Ce projet s'est déroulé en plusieurs étapes. La première était, en parallèle de l'état de l'art, la recherche d'informations auprès des techniciens du réseau d'eaux usées de chaque commune, des responsables de la STEP, le responsable du réseau de distribution électrique de la région ainsi qu'auprès du bureau d'ingénieur civil en charge de la planification du réseau d'EU des communes de Crans-Montana. Les principaux renseignements nécessaires sont les débits arrivants à la STEP, le fonctionnement de cette dernière, la structure du réseau d'eaux usées, les caractéristiques des conduites ainsi que les projets futurs ou en cours sur la commune relatif au réseau d'eau usée. Cette méthodologie est illustrée sur la Figure 2. Suite à ces informations, plusieurs variantes sont proposées dans ce rapport. Certaines d'entre-elles sont retenues suite à une étude de potentiel et un

dimensionnement des composants est effectué. Finalement, une brève étude financière est rédigée, ainsi qu'une étude de rentabilité. Le planning du travail de Bachelor est présenté dans la Figure 3.

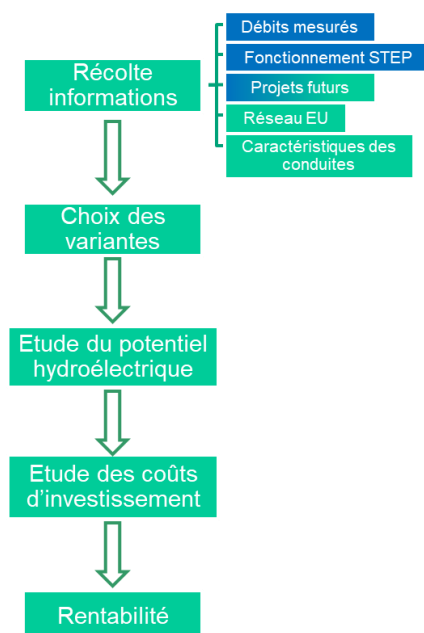


Figure 2: Illustration de la méthodologie

Nr.	Tâche	Début	Durée en semaines	Fin	mai 20	mai 21	mai 22	mai 23	mai 24	mai 25	mai 26	mai 27	mai 28	mai 29	mai 30	mai 31	mai 32	mai 33
1	Bachelor	13.05.2019																
1.1	Etat de l'art	13.05.2019	3	02.06.2019														
1.2	Informations sur le site	27.05.2019	6	07.07.2019														
1.3	Etude de potentiel	10.06.2019	4	07.07.2019														
1.4	Dimensionnement	08.07.2019	3	28.07.2019														
1.5	Coûts et rentabilité	29.07.2019	3	18.08.2019														

Figure 3 : Planning du travail Bachelor

2. Etat de l'art

2.1. Caractéristiques d'une petite centrale

2.1.1. Sur le réseau d'eaux potables

Une Petite Centrale Hydraulique (PCH) doit être peu coûteuse à la construction, fonctionner sans personnel permanent et demander peu de surveillance et d'entretien. Le but de ces petites centrales est d'atteindre un prix de revient de l'énergie équivalent à celui des autres « nouvelles énergies renouvelables » comme le solaire, l'éolien ou la biomasse. Cet objectif peut être atteint en utilisant des composants standardisés, permettant de réduire des coûts d'investissement tout en maintenant la qualité. De plus, l'implantation de la centrale sur une infrastructure existante permet également de minimiser les frais liés au génie civil.

Une PCH sur les réseaux d'Eau Potable (EP), par exemple, est composée d'un réservoir servant également de chambre de mise en charge, d'une conduite forcée, d'un groupe turbogénérateur raccordé au réseau électrique. Le réservoir permet la récupération des eaux en un même point. A sa sortie, Une unique conduite est implantée avec une vanne de maintenance. L'eau est donc mise en charge et descend par la conduite forcée jusqu'à la turbine. Des vannes de pied et de garde sont placées avant la turbine, en guise de protection. Un by-pass est installé pour permettre le passage de l'eau en tout temps, même en cas de dysfonctionnement ou de maintenance, ainsi que pour

permettre une adaptation du débit en cas de sur/sous régime par rapport à la plage de fonctionnement de la turbine. Le type de turbine est choisi en fonction de la chute et du débit d'équipement de l'installation. Cette turbine est implantée dans un local, qui comprend également les armoires électriques pour le couplage au réseau électrique par l'intermédiaire d'un transformateur. L'eau continue sa course dans le réseau d'eaux potables, jusqu'aux consommateurs.

La Figure 4 présente le schéma de principe d'une installation de turbinage sur le réseau EP avec la dénomination des différents éléments qu'elle comporte.

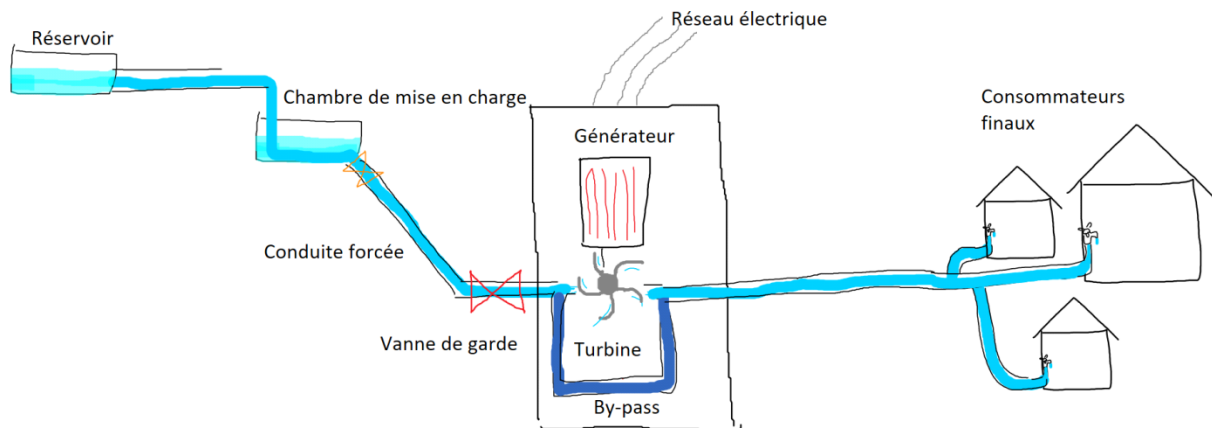


Figure 4 : Schéma de principe de turbinage sur le réseau EP

2.1.2. Sur le réseau d'eau usée

Pour la conception d'une PCH sur un réseau d'Eau Usée (EU), deux installations sont possibles :

- le turbinage des eaux usées avant qu'elles ne soient traitées à la Station d'Épuration (STEP) (Figure 5) ;
- le turbinage des eaux usées avant leur rejet dans un autre affluent, après son traitement (Figure 6).

La situation de la STEP (en plaine ou en altitude) permet de déterminer quel type d'installation choisir.

Pour une centrale après la STEP, les éléments et équipements diffèrent peu d'une centrale sur EP. L'installation reste donc similaire, la STEP faisant office de bassin de mise en charge.

Pour les centrales situées avant la STEP, à la différence d'une centrale sur le réseau EP, un système de dégrillage ainsi qu'un bassin de décantation, qui sert également de bassin de mise en charge, sont prévus pour retenir les éléments les plus grossiers et traiter une première fois l'eau. Les eaux sont ensuite acheminées jusqu'à la turbine de la même manière que pour une PCH classique.

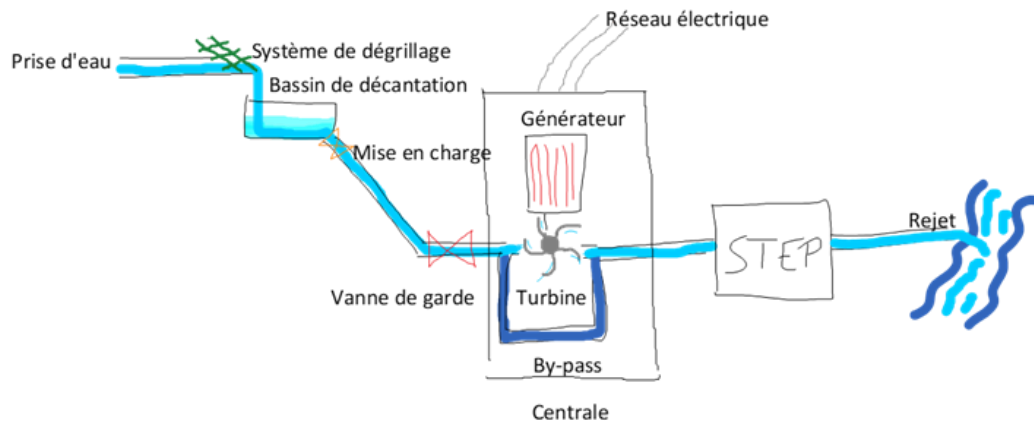


Figure 5 : Centrale de turbinage avant épuración [3]

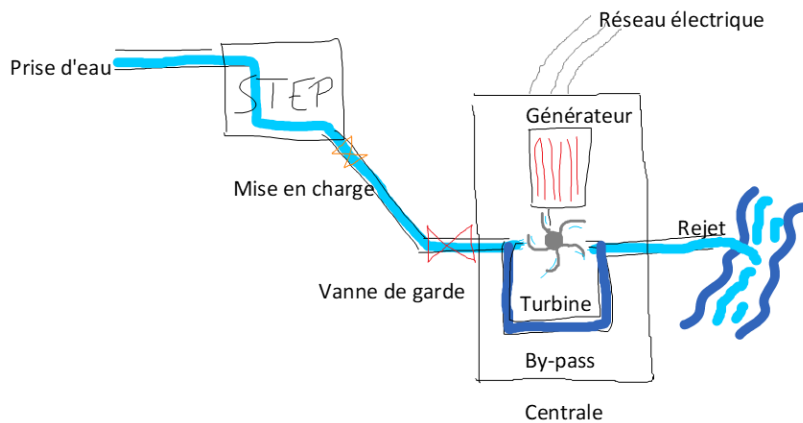


Figure 6 : Centrale de turbinage après épuración [3]

2.1.3. Aspects techniques d'une centrale d'EU

Système de dégrillage

Le système de dégrillage permet de retirer les matériaux les plus grossiers. Une taille de filtration est fixée en fonction des débris que la turbine peut supporter et du débit d'équipement, permettant à la grille de ne pas laisser passer d'éléments plus gros que les dimensions définies. Les éléments plus petits se retrouvent dans le bassin de décantation en aval.

Bassin de décantation et de mise en charge

Le bassin de décantation permet de précipiter vers le fond une partie des matières en suspension dans le fluide. Ce bassin est nettoyé manuellement ou automatiquement s'il est équipé d'un râteau ou racleur.

Conduites

Les conduites forcées utilisées dans les petites centrales sont des tuyaux de dimensions standards, en PVC, Polyéthylène (PE), acier ou en fonte. Les conduites en matière plastique résistent à la corrosion, mais sont vulnérables aux rayons solaires directs (UV). Il est donc nécessaire de les enterrer sur les zones à forte exposition. Les conduites en PE sont inertes et stables vis-à-vis de nombreux réactifs chimiques, tout comme celles en PVC. Elles sont assez rigides sur leur section pour ne subir aucune

déformation lors de l'enfouissement, et assez flexibles sur leur longueur pour permettre une flexion. Les tuyaux en fonte sont inoxydables et solides, ils peuvent supporter une grande pression et sont résistants à la corrosion. Les conduites en acier sont actuellement inoxydables, avec une bonne résistance aux chocs et une flexibilité limitée. Les conduites en matière plastique subissent une légère diminution de la résistance aux chocs par rapport aux conduites en acier ou en fonte, particulièrement celles en PVC. Elles sont néanmoins très résistantes dans le temps. La rugosité des conduites en plastique est faible comparé à une conduite en acier.

Le groupe turbo-générateur

La turbine est choisie en fonction de la chute et du débit à disposition. Les différentes turbines pouvant être utilisées sont les turbines de type Francis, Kaplan, Pelton, pompes inversées et également les vis d'Archimède. La turbine est reliée à un générateur, lui-même relié au réseau de distribution électrique par l'intermédiaire d'un transformateur d'énergie.

Autres éléments

En parallèle de la turbine est monté un bypass. Ce dernier permet de garantir l'acheminement des eaux usées à la STEP en tout temps ainsi que pendant la période de maintenance de la turbine. Il octroie également une marge de manœuvre au niveau des débits. Par exemple lors de gros orages, faisant dépasser les débits acceptés par la turbine, il permet de dévier une partie du débit. Cette remarque est valable uniquement lorsque les eaux pluviales sont collectées avec les eaux usées.

Un système pour la protection des personnes, des machines et du réseau de distribution est nécessaire, au même titre que pour les centrales à grande échelle. En cas de panne du réseau électrique, la turbine doit être arrêtée pour éviter qu'elle ne parte à l'emballement, mais également pour éviter toute injection d'énergie depuis la centrale sur le réseau électrique. [4]

L'installation comprenant le groupe turbogénérateur, le bypass ainsi que les armoires de distribution est placée dans un local dédié.

2.1.4. Problématique spécifique au réseau d'EU

Dans les régions touristiques, les débits quotidiens, et surtout saisonniers, sont très variables [5]. Ces débits sont utilisés pour dimensionner l'installation, ce qui rend ce processus délicat.

Pour les centrales avant traitement, la présence de matières grossières dans les eaux brutes risque d'obstruer la conduite et la turbine. Ceci peut engendrer des remplacements plus fréquents du matériel et une maintenance plus importante. Ces matières comprennent des fibres qui ne sont pas retenues lors du dégrillage. Selon le type de turbine choisi, les problématiques sont diverses, comme présenté dans le chapitre 4.3. Ces inconvénients peuvent obstruer certains éléments et un démantèlement de l'installation est nécessaire.

La régulation de chaque turbine doit être différente de son homologue placé dans les centrales à grande échelle. Les directrices ou pointeaux doivent s'ouvrir rapidement pour permettre au débit d'eau d'évacuer les fibres et autres matières accumulées dans ces éléments. Par conséquent, la turbine monte en vitesse rapidement et se stabilise à vitesse nominale par la suite. L'installation doit tout de même rester simple, notamment en évitant les déflecteurs, qui nécessiteraient un système de sécurité supplémentaire [6].

Un autre facteur à mettre en avant est celui des eaux pluviales. Ces dernières contiennent du sable et des minéraux fortement abrasifs qui peuvent endommager la turbine. Si les eaux claires ou eaux de pluie ne sont pas séparées des eaux usées, dites eaux noires et eaux grises le volume d'eaux à traiter

sera trop important. Un bassin de compensation avec un déversoir de trop-plein sera donc installé pour éviter les débordements aux endroits des prises d'eaux.

Les installations de turbinage après STEP sont similaires aux installations standards (par exemple sur eaux potables). Elles n'ont par conséquent pas de problématique supplémentaire.

2.2. Centrales sur EU existantes

Au niveau mondial, il y a 16 centrales de turbinage d'EU, dont 3 avant traitement (Profray (CH), Esholt(EN), As Samra (JO)). La Suisse reste le pays ayant le plus d'installations de turbinage sur le réseau d'eau usée avec 7 centrales, dont une seule avant traitement (Profray). Les centrales d'As Samra et Esholt sont présentées plus en détails au chapitre 4.4 du présent rapport.

Les débits turbinés vont de 0.1 à 26 m³/s, pour des chutes allant de 5 à 449 m. Le Tableau 1 présente les caractéristiques principales des différentes installations [7].

Nom	Pays	Turbine	Puissance installée [kW]	Chute [m]	Débit d'équipement [m ³ /s]
As Samra	Jordanie	2 Pelton	1700	104	3.2
As Samra	Jordanie	3 Francis	2500	41	3.2
Esholt	Angleterre	2 vis d'Archimède	180	10	2.6
Deer Island, Boston	USA	2 Kaplan	2000	8.8	2 x 13.1
Point Loma, San Diego	USA	Francis	1350	190	0.84
Emmerich	Allemagne	Vis d'Archimède	13	3.8	0.4
La Asse, Nyon	Suisse	Pompe inversée	220	94.25	0.293
Aïre, Genève	Suisse	Kaplan	200	5	3.2
Grächen	Suisse	Pelton	262	365	0.09
La Douve I, Leysin	Suisse	Pelton	430	545	0.08
La Douve II, Leysin	Suisse	Pelton	75	83	0.108
Profray, Le Châble	Suisse	Pelton	350	449	0.1
Engelberg	Suisse	Pelton	50	54.4	0.16
Morgental, St. Gallen	Suisse	Pelton	1350	190	0.84
Hsinchu	Taïwan	N/A	11	N/A	N/A
Taichung	Taïwan	N/A	68	N/A	N/A
North Head, Sydney	Australie	Kaplan	4500	60	3.5

Tableau 1 : Caractéristiques des centrales de turbinage des eaux usées dans le monde [5]

La Figure 7 représente la répartition des centrales de turbinage des EU au niveau mondial ainsi que le type de turbine utilisée en pourcent.

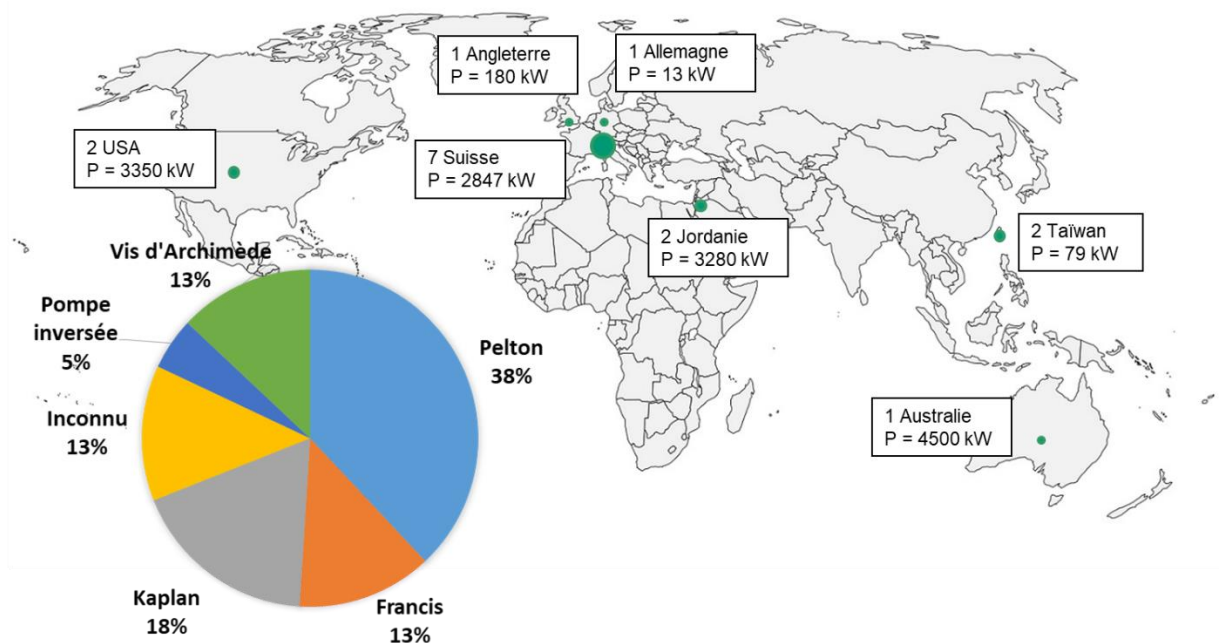


Figure 7 : Centrales de turbinage d'EU dans le monde et leurs puissances

Au niveau suisse, certains réseaux d'EU sont équipés de turbines comme par exemple la STEP de l'Aire à Genève, la STEP de Profray à Bagnes, ou encore la STEP de Nyon. Les différentes centrales avec leurs caractéristiques sont listées dans le Tableau 2.

Nom	Turbine	Mise en service	Emplacement	Production [GWh/an]	Puissance installée [kW]	Chute [m]	Débit d'équipement [m3/s]
La Asse, Nyon	Pompe inversée	1993	Après	0.51	220	94.25	0.293
Aïre, Genève	Kaplan	N/A	Après	0.26	200	5	3.2
Grächen	Pelton	2011	Après	N/A	262	365	0.09
La Douve I, Leysin	Pelton	1989	Après	1.8	430	545	0.08
La Douve II, Leysin	Pelton	N/A	Après	0.33	75	83	0.108
Profray, Le Châble	Pelton	1993	Avant	0.9	350	449	0.1
Engelberg	Pelton	1967	Après	0.22	50	54.4	0.16
Morgental, St. Gallen	Pelton	2014	Après	4.1	1350	190	0.84

Tableau 2 : Caractéristiques des turbines suisses sur EU

La proportion de turbine de chaque type utilisée et la répartition des centrales en Suisse est présentée sur la Figure 8.

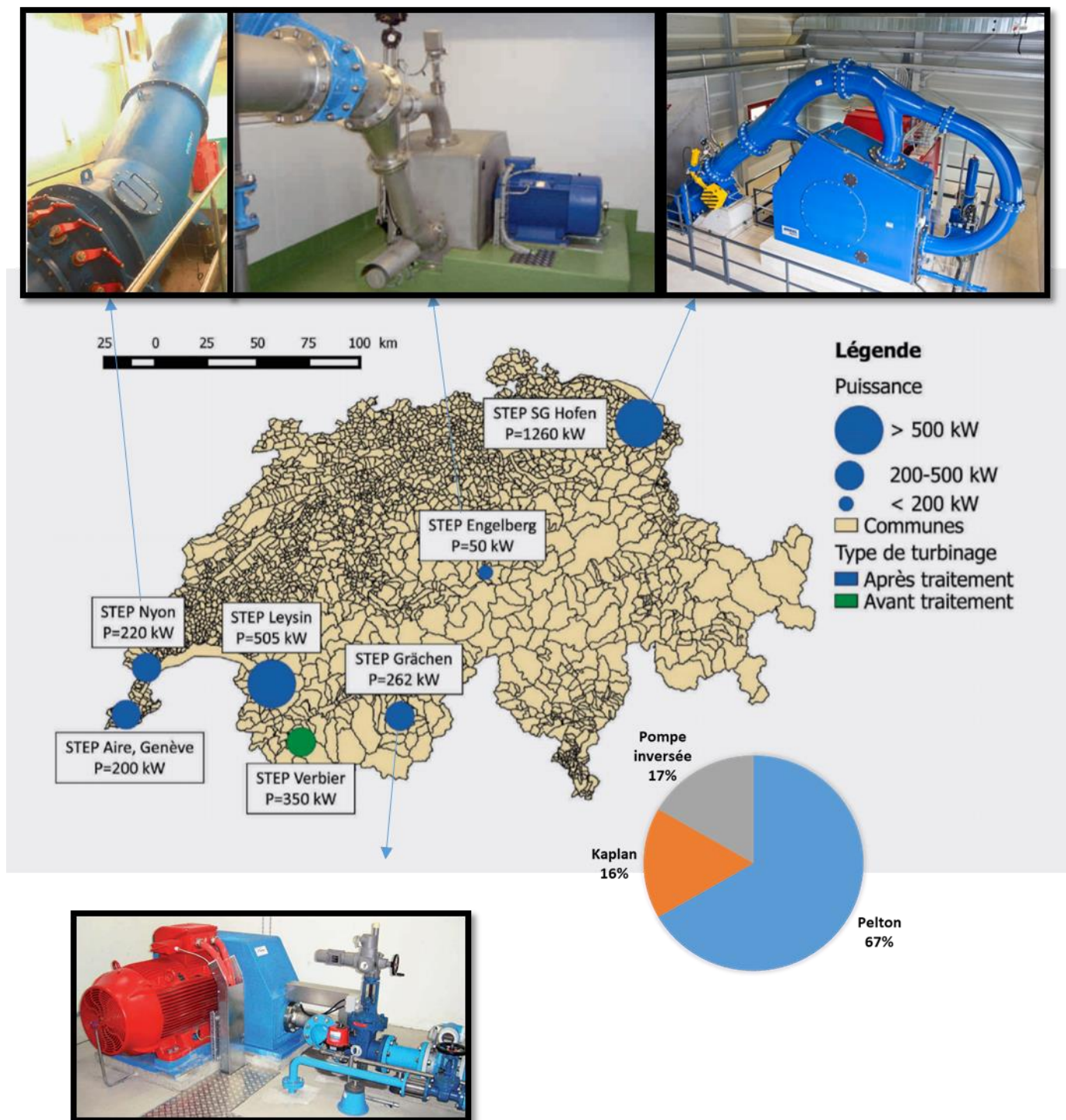


Figure 8 : Turbinage des eaux usées en Suisse [3] [8] [9] [10]

Les centrales de Leysin, Nyon et Profray sont présentée plus en détails aux chapitres 2.3.3, 2.3.4 et 2.3.5 du présent rapport.

2.3. Exemples de turbinage d'EU

Il est intéressant de s'attarder sur les installations déjà réalisées au niveau du turbinage des eaux usées en Suisse, mais également dans le monde.

2.3.1. As Samra

L'installation de turbinage des eaux usées d'As Samra, en Jordanie, est constituée de deux paliers de turbinage : avant et après traitement des eaux. La première centrale, constituée de deux turbines Pelton à 5 injecteurs d'une puissance installée de 840 kW chacune, turbine l'eau brute après l'installation de prétraitement Ain Ghazal. La deuxième centrale, équipée de deux turbines Francis d'une puissance installée de 800 kW chacune, turbine l'eau traitée après chloration. Au total, 21.1 GWh/an sont produits.

La STEP atteint 80% d'autonomie énergétique grâce à sa production de biogaz et d'énergie hydraulique. L'eau sortant de la centrale est ensuite destinée à l'irrigation [11]. La Figure 9 représente les turbines Pelton et Francis de la centrale d'As Samra.



Figure 9 : Turbines Pelton à axe vertical (gauche) et Francis à axe horizontal (droite) [12]

2.3.2. Esholt

La centrale de turbinage d'Esholt, en Angleterre, est équipée de deux vis d'Archimède montées en série pour produire de l'énergie. Elle est constituée de vis tournant à l'intérieur d'une auge ouverte et fixe. Chacune a une puissance installée de 90 kW. Ces turbines ont l'avantage de demander une faible maintenance et sont bien adaptées aux basses chutes [13]. La Figure 10 représente les deux Vis d'Archimède de profil.

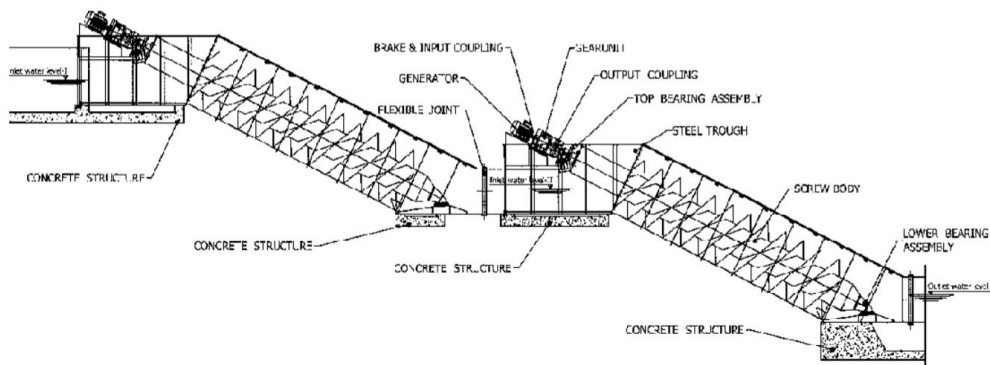


Figure 10 : Installation d'Esholt [14]

2.3.3. Leysin

La centrale de Leysin, qui fut une installation pionnière dans le turbinage d'eau usée, a été inaugurée en 1989. La topographie de la station offre un grand dénivelé entre la STEP et le cours d'eau de rejet qu'est la Douve. Cet ouvrage permet de turbiner les eaux traitées et une partie de l'excédent des eaux de pluie. L'installation fut dimensionnée de manière à obtenir un diamètre économique de 200 mm.

La centrale se compose d'une turbine Pelton à axe vertical d'une puissance installée de 280 kW. Elle permet de produire une énergie de 1.7 GWh/an (données entre 1992 et 1993).

La station fonctionna sans maintenance durant 5 ans, après quoi des dépôts furent observés sur les parois intérieures de la conduite. Ces dépôts sont occasionnés par les résidus organiques à la sortie de la centrale. Une maintenance mensuelle dut être mise en place pour diminuer les pertes de charge. La Figure 11 représente le groupe turbogénérateur de la centrale de Leysin.

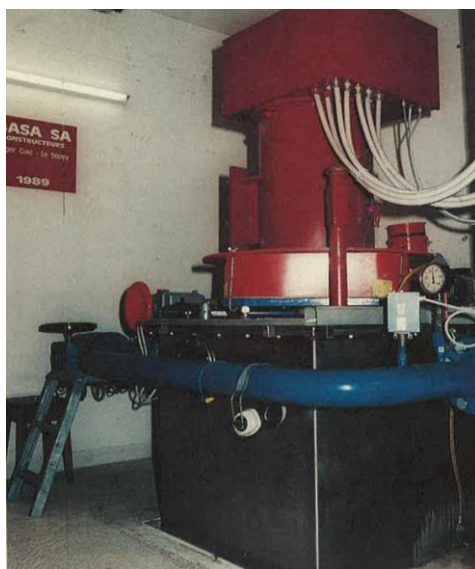


Figure 11 : Centrale de Leysin [12]

2.3.4. Nyon

Par manque de place, la STEP de Nyon fut construite sur le plateau de l'Asse, 110 m au-dessus du niveau des habitations. Ceci implique que les eaux usées doivent être pompées vers la STEP, après un prétraitement. Les eaux traitées ne pouvant pas être rejetées dans le cours d'eau voisin, une conduite forcée fut construite, menant les eaux traitées jusqu'au lac Léman. Une petite centrale a été

placée dans la station de pompage près du lac, après traitement. Elle fut dimensionnée pour absorber le débit maximal de la STEP qui est de 0.293 m³/s. La topologie permettait un grand choix de turbines, mais une pompe inversée d'une puissance installée de 220 kW fut choisie, principalement pour son coût plus faible que les turbines classiques à réaction. Ce système demande néanmoins un système de commande robuste et coûteux dû aux démarrages et arrêts fréquents de la machine. L'installation produit 0.7 GWh par an [12]. La Figure 12 représente la pompe inversée de la centrale.

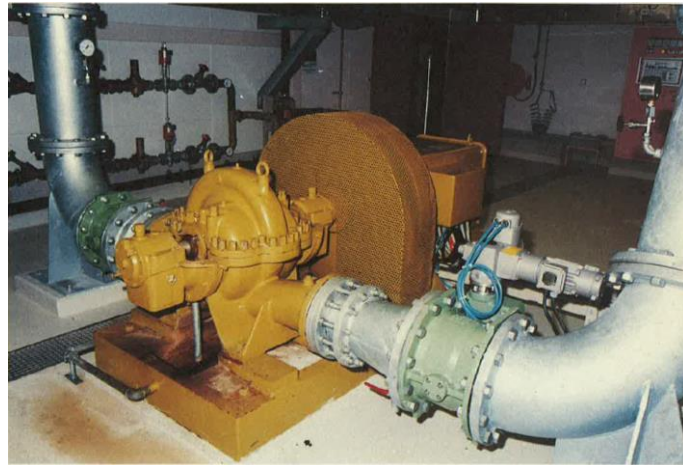


Figure 12 : Pompe inversée de la centrale de Nyon (1993) [12]

2.3.5. Profray

L'installation de Profray, sur la commune de Bagnes, est une centrale de turbinage placée avant l'usine de traitement des eaux. Depuis sa mise en service en 1993, la centrale a produit 13 millions de kWh en turbinant les eaux usées de la station de Verbier. Cette installation est exploitée par les systèmes industriels de Bagnes (SIB).

La centrale de turbinage a été initialement dimensionnée pour une plage débit de 40 à 240 l/s. Une turbine Pelton à 2 injecteurs à axe horizontale, d'une puissance électrique de 650 kVA, avait été installée. Après 10 ans d'exploitation, les débits disponibles s'avéraient nettement inférieure, ce qui a conduit à un remplacement total du groupe hydro et électromécanique en 2007. Actuellement, elle se compose d'une Pelton à axe vertical avec deux injecteurs. La puissance électrique installée de la nouvelle turbine est de 450 kVA. La turbine permet de gérer une plage de débit de 25 et 100 l/s. Le débit moyen annuel mesuré atteint 42.2 l/s.

Les eaux de la station sont récoltées dans un bassin de mise en charge de 400 m³. Ce volume a été choisi pour permettre le stockage en cas de grosses pluies. Le niveau est maintenu relativement constant, soit au tiers du volume total du bassin. Il est équipé d'un dégrilleur qui laisse uniquement passer des particules plus petites que 6 mm.

L'eau transite par une conduite forcée en fonte et polyuréthane puis en inox, d'environ 3,5 km et 300 mm de diamètre, jusqu'au local de turbinage, qui est intégrée à la STEP. Les eaux sont ensuite rejetées dans la Dranse de Bagnes après leur traitement [15].

L'installation est composée de deux vannes sphériques, prévues pour les eaux chargées en minéraux, ce qui n'était pas le cas avant la réhabilitation de la centrale de 2007. La vanne de bypass est une vanne de régulation avec un siège en V, qui permet une linéarisation de la courbe de débit.

La Figure 13 présente le schéma de principe de la centrale de Profray.

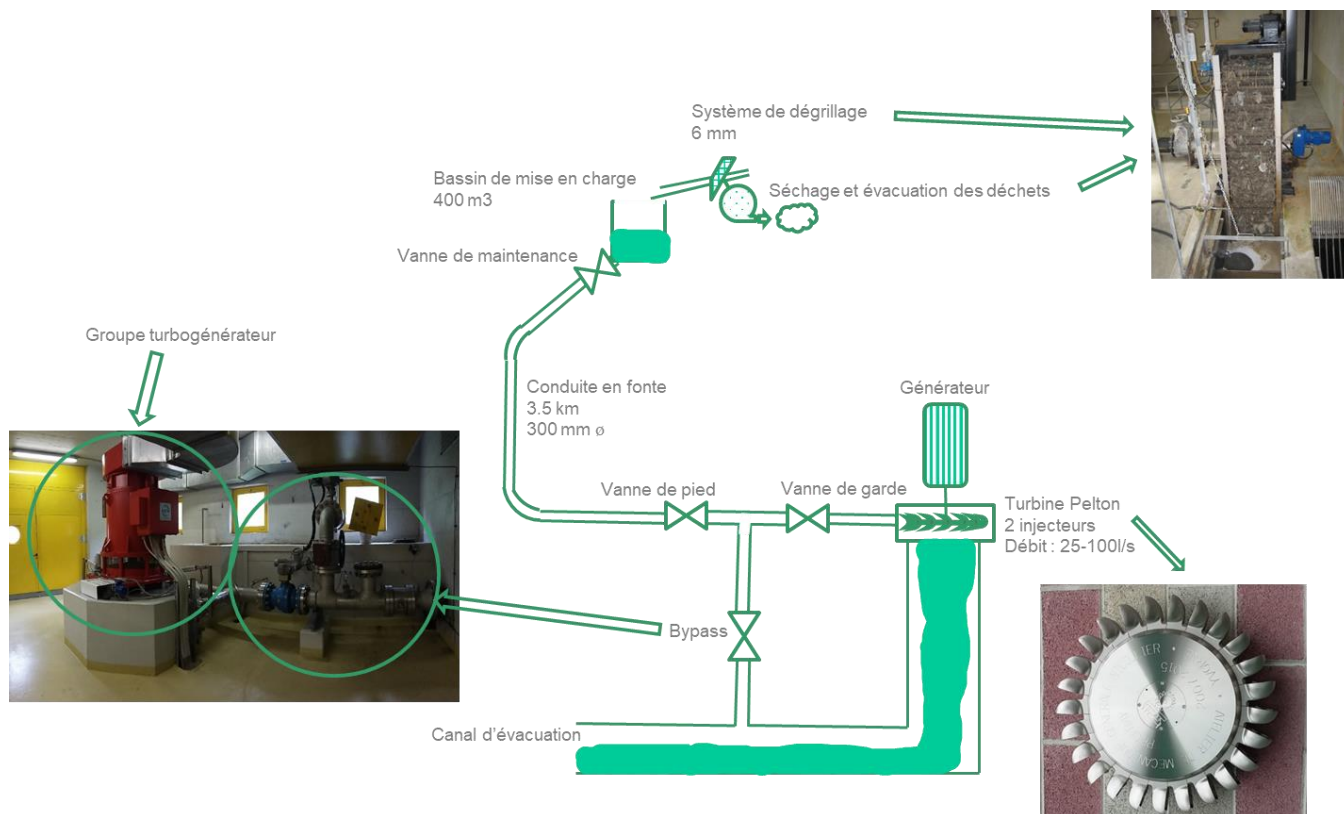


Figure 13 : Principe et photos de l'installation de Profray

Au niveau de l'entretien et de la maintenance de l'installation de Profray, un nettoyage des déchets agglomérés dans le bassin de décantation est fait manuellement toutes les deux semaines par le personnel de la STEP. Le démontage des injecteurs est fait rapidement grâce à une mécanique simplifiée pour pouvoir y enlever si nécessaire des matières fibreuses. La roue est changée chaque 5 ans tandis que les pointeaux sont changés chaque 3 ans. Les heures de maintenance représente en moyenne 30h/an.

2.4. Potentiel hydroélectrique sur les réseaux d'EU

Plusieurs projets ont vu le jour pour étudier le potentiel de différents sites dans le monde, comme le projet DIANE [12] en Suisse, ou encore celles effectuées par Power et al. [16], Gallagher et al. [17] en Irlande et au Royaume Uni. Il n'existe malheureusement pas de méthode universelle pour déterminer le potentiel de turbinage d'un site. Chaque site, et par conséquent chaque installation est différente, mais une méthodologie permet néanmoins de définir une faisabilité technique et économique.

Au niveau Suisse, une évaluation du potentiel de turbinage des eaux usées a été réalisée au Laboratoire de Construction Hydrauliques (LCH), en collaboration avec le bureau e-dric.ch. 19 sites ont été identifiés comme étant potentiellement rentables.

Chaque site considéré dans cette étude est simulé pour une installation avant puis après la STEP. La Figure 14 présente les résultats obtenus de ces simulations : On remarque que le potentiel de production après STEP est plus élevé que celui avant STEP, soit de 21.7 GWh/an respectivement 9.6 GWh/an. En effet il y a moins d'installations avant STEP rentable par rapport aux installations après STEP. Le surcoût dû aux bassins et dégrilleurs en est une des causes de cette faible rentabilité avant STEP.

Sur 65 cas d'étude avant STEP, 15 sites rentables ont été identifiés dont une installation déjà en fonctionnement. Et sur 41 cas d'étude après STEP, 11 sites sont potentiellement rentables dont 6 installations déjà existantes.

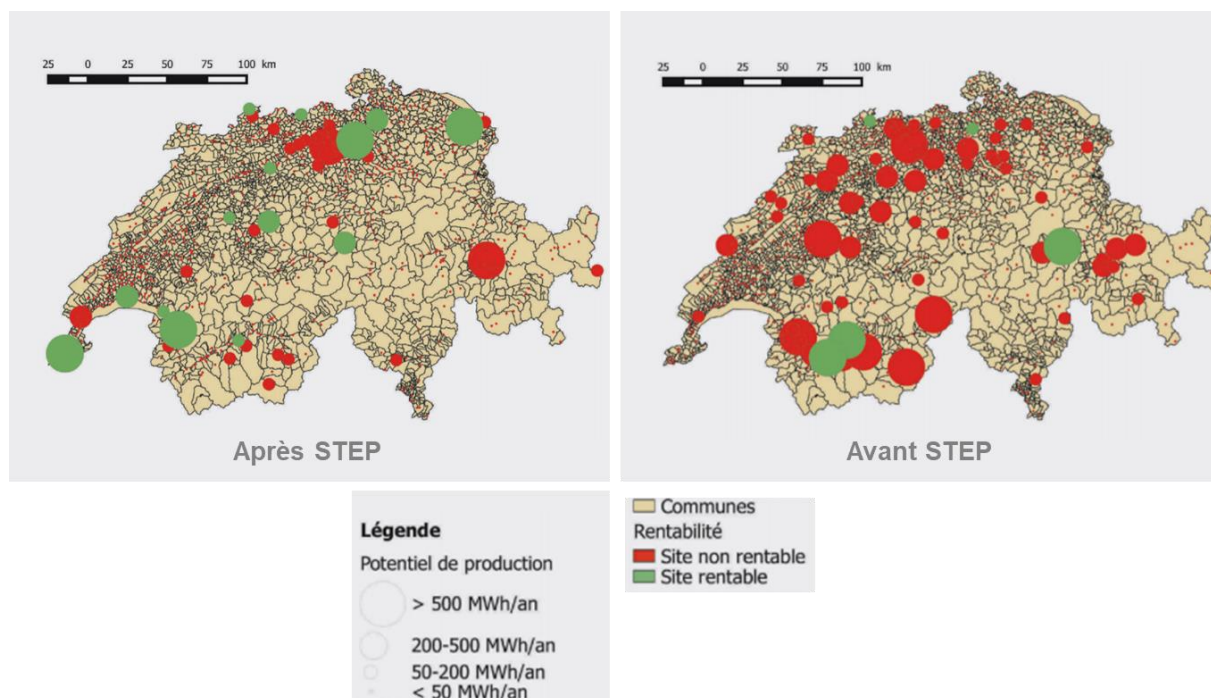


Figure 14 : Potentiel de turbinage des EU en Suisse avant (droite) et après STEP (gauche) [3]

L'étude a également pris en compte le regroupement possible de petite STEP datant des années 70, arrivant en fin de vie, en des STEP plus grande. Un raccordement entre les petites stations permettrait non seulement une amélioration de la qualité du traitement des eaux, mais également d'ajouter un emplacement de turbinage, dans la conduite reliant les deux STEP [3].

La Figure 15 présente le potentiel de turbinage des eaux usées après une éventuelle fusion des STEP.

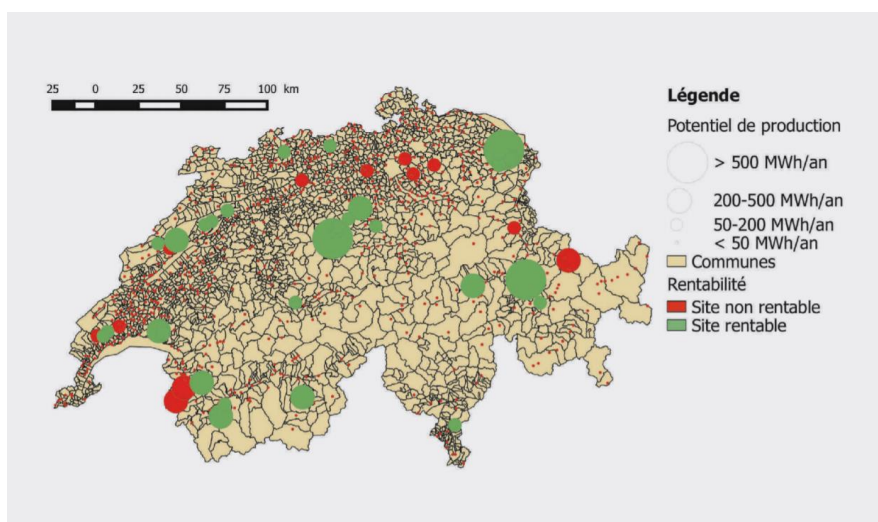


Figure 15 : Potentiel de turbinage lors de la réunion de petites STEP [3]

Dans le cadre du projet DIANE de 1995 [12], une étude de potentiel de turbinage des eaux usées a été développée et un inventaire des communes, comportant notamment le type d'eau à turbinée et la longueur de la conduite forcée, a été dressé. Cette étude a permis de proposer 3 variantes de

turbinage sur ce site. Les Figure 16 et Figure 17 présentent l'implantation et les caractéristiques de ces différentes variantes

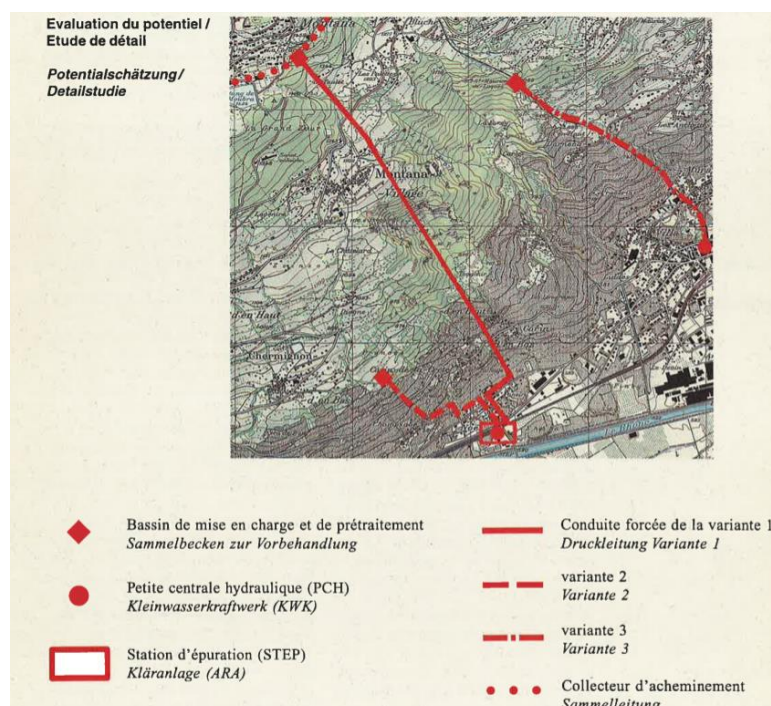


Figure 16 : Variante d'implantation des installations sur la commune de Montana [12]

Tableau récapitulatif <i>Uebersichtstabelle</i>								
Variante <i>Variante</i>	Chute Δz (m) <i>Fallhöhe Δz (m)</i>	Longueur L (m) <i>Länge L (m)</i>	Volume V (m³/an) <i>Volumen V (m³/Jahr)</i>	Energie E (kWh/an) <i>Energie E (kWh/Jahr)</i>	Participation (Fr.) <i>Beteiligung (Fr.)</i>	Surcoûts (Fr.) <i>Nebenkosten (Fr.)</i>	Coût total (Fr.) <i>Gesamtkosten (Fr.)</i>	Prix de revient r (ct./kWh) <i>Gestehungskosten r (Rp/kWh)</i>
1	876	4'000	3'556'000	4'855'000	120'000	420'000	4'071'000	8
2	316	1'500	593'000	292'000	23'000	-	738'000	25
3	480	2'400	593'000	442'000	-	-	887'000	20

Figure 17 : Caractéristique des variantes de turbinae [12]

Le volume des eaux usées annuel récolté par les trois communes s'élève à 4.74 millions de mètres cubes. Les trois quarts de ce volume proviennent de la zone touristique de Crans-Montana.

La variante 1 concentrerait les eaux de cette zone en un point d'altitude maximal à l'aide de deux collecteurs. Ces eaux seraient amenées à la STEP de Sierre par une conduite forcée.

La variante 2 prévoit la collecte du solde des eaux de Montana et de Chermignon sur un point de jonction existant.

La variante 3 comprend le solde des eaux de Randogne et leur acheminement sur Sierre parallèlement aux voies du funiculaire.

Les deux premières variantes incluent un turbinae à l'emplacement de la STEP, ce qui est un avantage financier certain, car aucun bâtiment supplémentaire ne doit être construit.

Ces trois variantes serviront de comparaison pour l'étude de potentiel qui sera réalisée dans le cadre de ce travail de Bachelor.

3. Cas d'étude : Commune de Crans-Montana

3.1. Contexte

La commune de Crans-Montana regroupe 21 villages. Elle fut fondée en janvier 2017 par la fusion des communes de Chermignon, Montana, Mollens et Randogne. Cette grande commune regroupe 10'437 habitants au jour du 12 juin 2019. Elle est située à une altitude moyenne de 1'495 m d'altitude, au-dessus de la ville de Sierre et au-dessous du Glacier de la Plaine Morte.

L'association des communes de Crans-Montana (ACCM) regroupe les communes de Crans-Montana, Icogne et Lens. Cette association a proposé l'étude de la mise en place d'une centrale de turbinage des eaux usées. La commune de Lens acheminant son eau usée à la STEP de Granges et la commune d'Icogne disposant de sa propre STEP, l'étude est focalisée sur les réseaux d'eaux usées de Montana, de Montana-Village et de Randogne qui sont raccordés à la STEP de Noës. Cette dernière traite également les eaux usées de la ville de Sierre avant de rejeter l'eau claire dans le Rhône. Le réseau est très complexe, car les communes étaient autrefois séparées.

La Figure 18 présente le réseau principale de collecte et d'acheminement des eaux usées vers la station d'épuration de Noës sur la commune de Sierre.

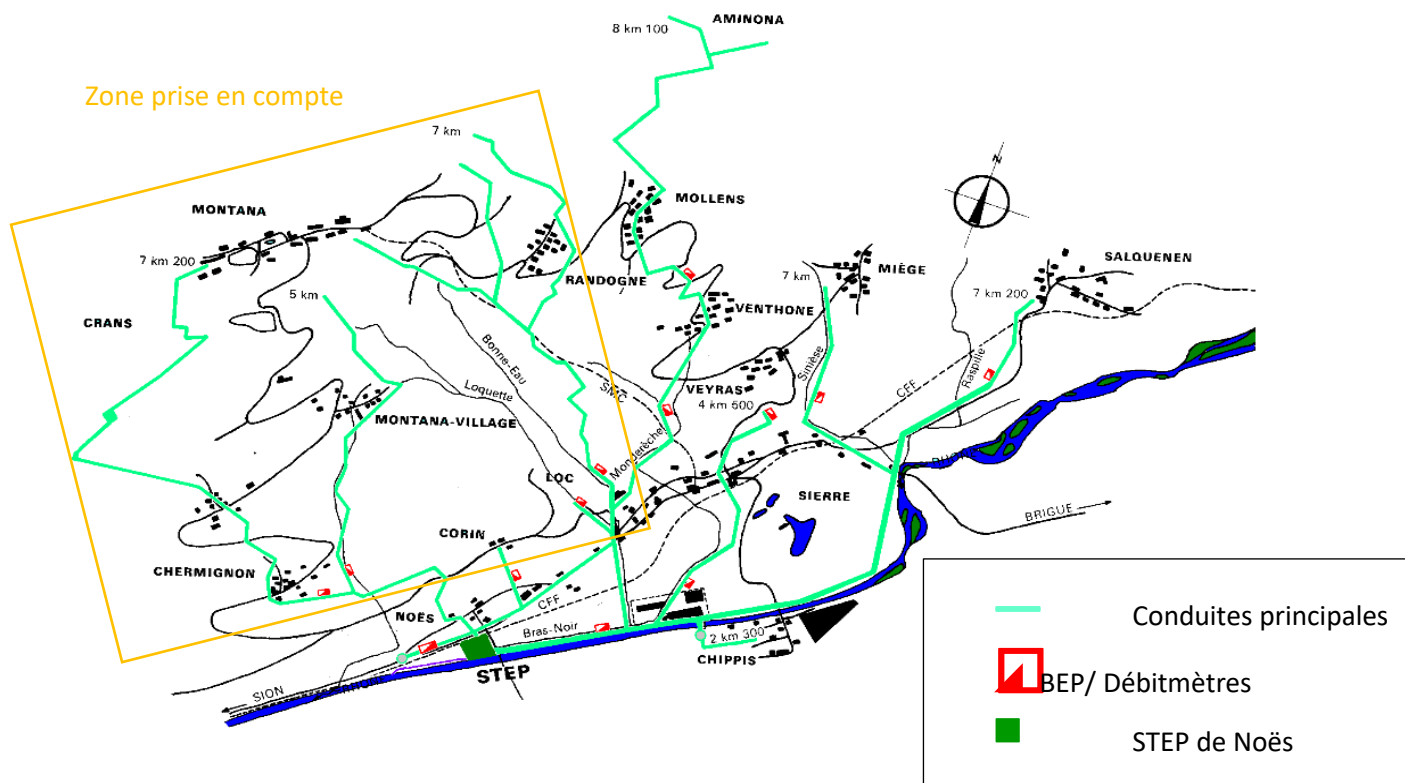


Figure 18 : Réseau principal d'eaux usées de la STEP de Noës

3.1.1. Réseau d'EU

Le réseau d'EU de la commune de Crans-Montana et de Sierre est très dense. Le réseau détaillé avec les conduites concernant ce projet est présenté en annexe 9.4. Les seules conduites qui ne sont pas concernées sont celles passant par Veyras, Miège et Salquenen. Le réseau comporte également des bassins d'eaux pluviales, des déversoirs et des débitmètres. Les bassins d'eaux pluviales permettent d'emmagasinier le trop-plein en cas de grosses pluies et de se vider à partir d'un certain seuil. Les déversoirs serviront à évacuer les pointes de débits durant les orages. Les BEP permettent de stocker

temporairement le surplus d'eau en cas de forte pluie. Un bassin tampon en amont de la STEP permet de garantir un débit constant même lors de forte pluie, en laissant passer le fort débit dans un réservoir. La Figure 19 et la Figure 20 représente le bassin tampon situé sur le Bras Noir et le bassin d'eaux pluviales de Randogne.

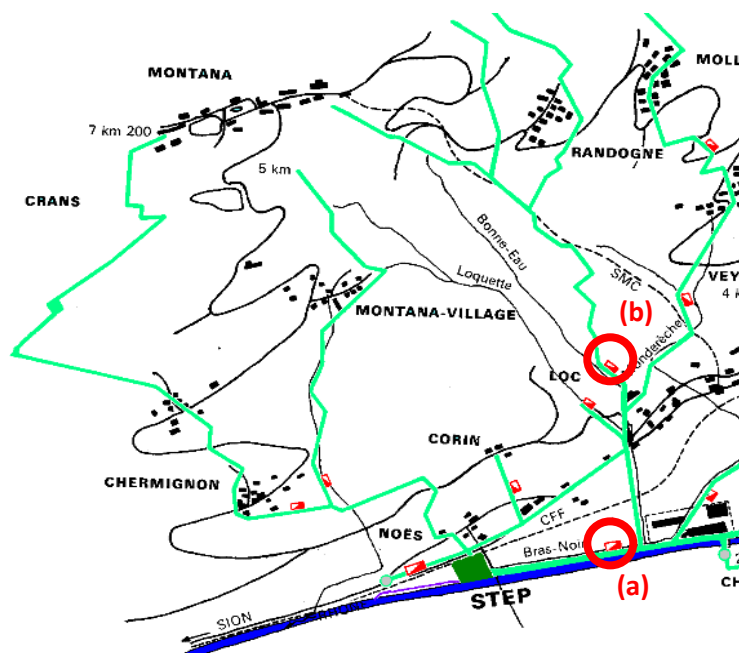


Figure 19 : Bassin tampon (a) et BEP de Randogne (b)



Figure 20 : bassin tampon (gauche) et bassin d'eaux pluviales (droite)

3.1.2. Infrastructures existantes et futures

Il existe des Bassins d'Eaux Pluviales (BEP) ainsi que des déversoirs d'orage (OR) présents sur l'ensemble du réseau d'EU de la commune de Crans-Montana. Les BEP sont également équipés de dégrilleurs de 10 mm en moyenne. Ils sont dimensionnés en fonction des pluies et de la charge acceptable par les cours d'eau. Ils permettent une dépollution du premier flux d'eaux. Ces bassins ne peuvent néanmoins pas être utilisés en tant que bassins de mise en charge. La première raison est le type de dégrilleurs. Ce sont des dégrilleurs latéraux, qui permettent au débit en surplus de passer. Dans ce type d'installation, la plus grande partie du débit ne passe pas par ce dégrilleur.

Un projet en cours est de séparer les eaux parasites des eaux usées. Mais cette mise en place demanderait trop de ressources et des coûts trop importants. Le réseau sera alors séparé lors du

renouvellement des équipements hydrauliques. Il y aurait un projet concernant la construction d'un nouveau BEP au pied de Montana-Village.

3.1.3. STEP de Noës

La STEP de Noës est connectée à deux conduites. La première vient de la région de Crans-Montana, Montana-Village et Chermignon tandis que la deuxième vient des communes de Randogne, Mollens, Venlhône, Miège, Veyras, Salquenen, Aminona, Loc et Corin. 42% du débit total arrivant à la STEP provient de la première conduite.

Quatre Vis d'Archimède (1) remontent les eaux usées jusqu' à deux grands dégrilleurs, d'une taille de grille de 10mm, pour éliminer les gros résidus (1).



Figure 21 : Arrivée des vis d'Archimède (gauche) et dégrilleurs (droite) (1)

Les eaux passent ensuite par deux bassins de dessablage et de déshuilage (2). Les huiles sont éliminées lorsqu'elles stagnent à la surface et les sables sont séchés et envoyés en décharge. Après cette étape, l'eau passe dans deux tamiseurs, d'une taille de grille de 3 mm, qui tourne avec la différence de hauteur entre l'amont et l'aval de la machine (3).

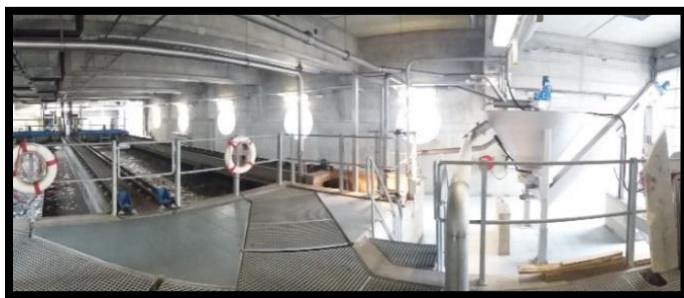


Figure 22 : Bassin de dessablage et déshuilage (2)



Figure 23 : Tamiseurs (3)

L'eau tamisée passe à nouveau par 4 Vis d'Archimède, pour ensuite finir dans 4 bassins de décantation primaire (4). La dernière étape avant la restitution des eaux dans le Rhône est le traitement biologique (5). Les bactéries finissent de purifier l'eau des microorganismes. Une dernière filtration est effectuée dans un décanteur secondaire avant la restitution. Ces deux étapes sont effectuées chacune dans 4 bassins placés en parallèles.



Figure 24 : Décanteurs primaires (4)



Figure 25 : Traitement biologique (5)

La Figure 26 représente les différents éléments de la STEP de Noës.

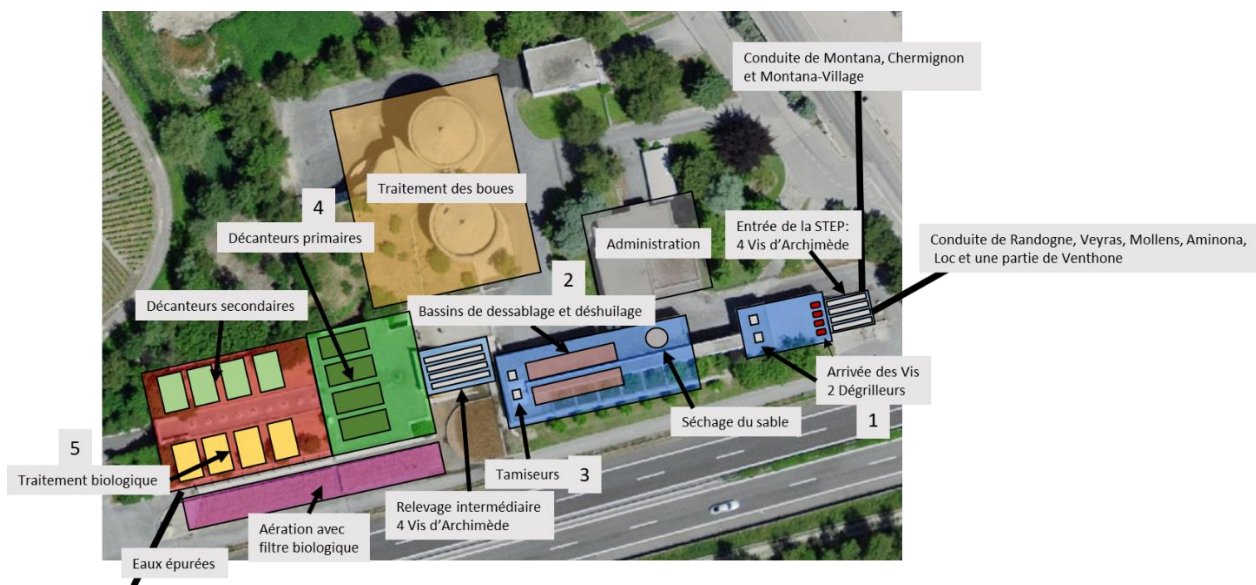


Figure 26 : STEP de Noës

3.2. Variantes identifiées

Les conduites d'EU ne sont pas en charge, il est donc impossible de les utiliser. Il faut donc implanter des conduites forcées en parallèle du réseau d'EU pour le turbinage. Les variantes sont des turbinages avant traitement car la STEP est en plaine ce qui implique l'implantation de bassin de décantation et des dégrilleurs en amont.

En suivant le tracé des conduites principales d'EU, sur une carte nationale permettant une précision suffisante, 6 variantes de placement des bassins et des conduites ont pu être envisagées. Sur la Figure 27 se trouvent les conduites principales (en gris) traversant les villages de la commune. Des bassins de décantation et des dégrilleurs (en bleu) ont été implantés le long de ces conduites. Leur emplacement est choisi en fonction du débit sortant des villages en amont de ces bassins et de la hauteur de chute. Pour les 6 variantes, la centrale est implantée au plus proche de la STEP pour gagner un maximum de chute et l'emplacement des bassins est effectué en fonction du plan d'affectation des zones [18] et du plan synoptique du bureau BISA.

Le tracé des nouvelles conduites forcées permet d'éviter les obstacles, principalement les habitations. Au niveau des villages de Corin et Noës, l'implantation de la conduite forcée de chaque variante est choisie en parallèle de la conduite d'EU existante.

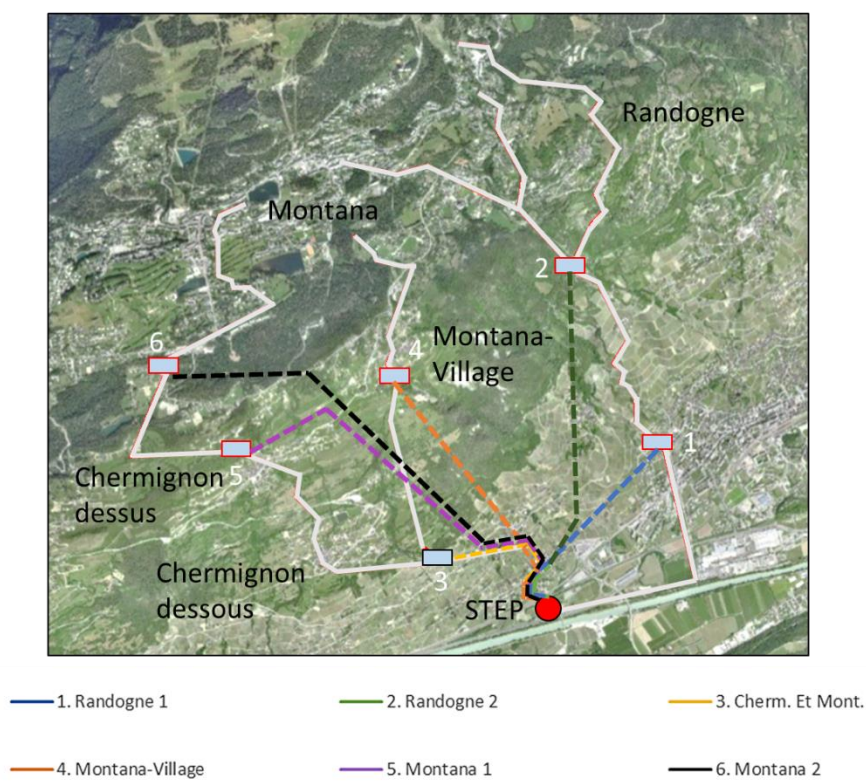


Figure 27 : Tracé des conduites sur la commune de Crans-Montana

3.2.1. Variante 1 : Randogne 1

Le bassin de décantation de Randogne 1 est implanté après la jonction suivant le BEP 15 et le DO 13, juste avant le DO 16, sur la conduite de Randogne. Il est implanté sur une zone agricole et la conduite traverse des zones agricoles et forestières. Il est situé à 585 m d'altitude. La chute brute est de 201 m. La Figure 28 représente l'implantation du bassin pour Randogne 1 sur le schéma synoptique.

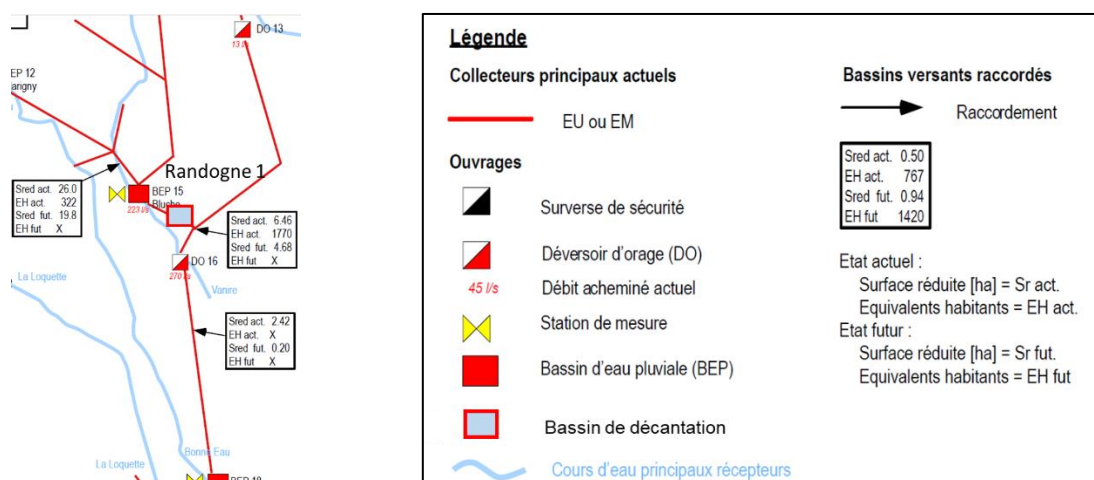


Figure 28 : Implantation du bassin pour Randogne 1

La Figure 29 représente l’implantation du bassin et de la conduite en fonction de l’affectation des zones. La Figure 30 représente le profil en long de la conduite, avec la hauteur de chute, l’altitude du bassin et la longueur de la conduite qui est de 2.4 km.

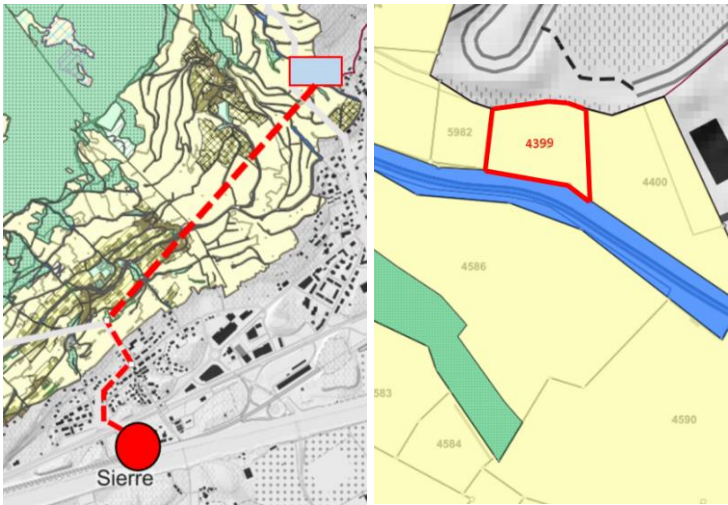


Figure 29 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin de Randogne 1¹

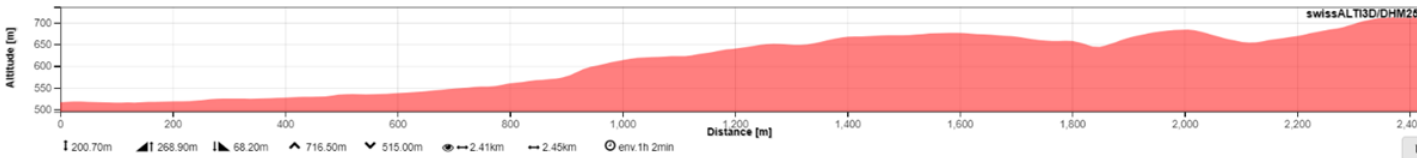


Figure 30 : Profil en long - Randogne 1

3.2.2. Variante 2 : Randogne 2

Le bassin de décantation de Randogne 2 est placé après le BEP 18, avant la jonction de la conduite de Randogne et de Veyras, à 1020 m d’altitude. Sa chute brute est de 476 m. Il est implanté sur une zone forestière et la conduite traverse des zones agricoles et forestières. La Figure 31 représente l’implantation du bassin pour Randogne 2 sur le schéma synoptique.

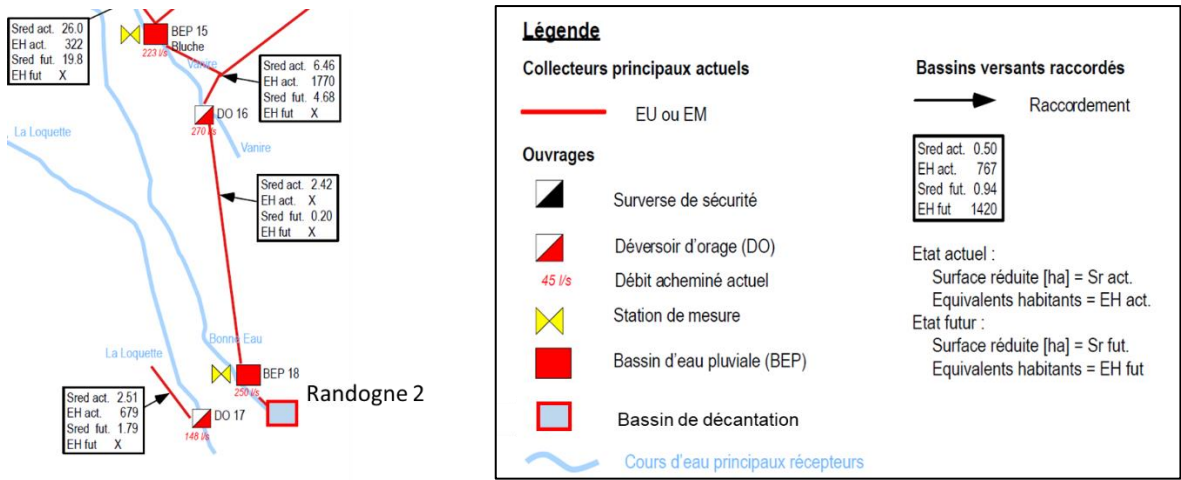


Figure 31: Implantation du bassin pour Randogne 2

¹ Voir légende en annexe 9.7

La Figure 32 représente l'implantation du bassin et de la conduite en fonction de l'affectation des zones. La Figure 33 représente le profil en long de la conduite, avec la hauteur de chute, l'altitude du bassin et la longueur de la conduite, qui est de 3.6 km.

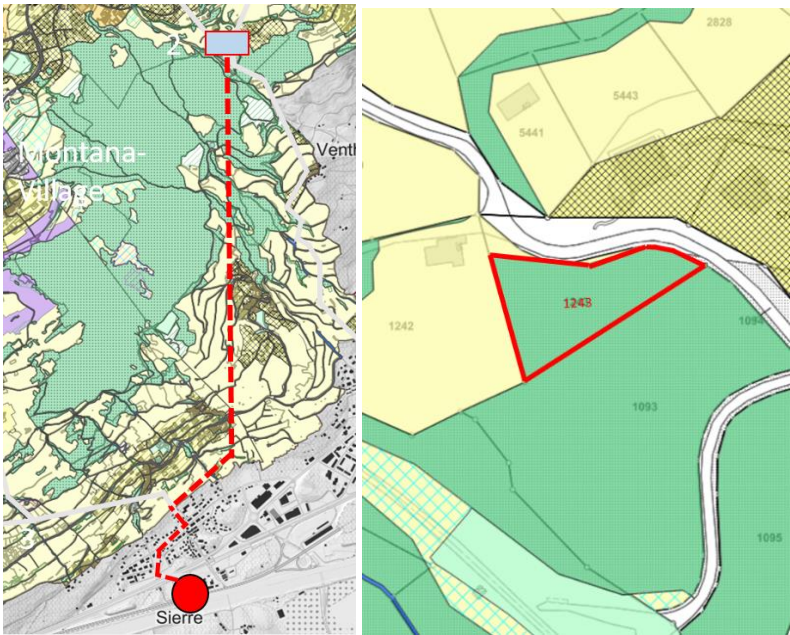


Figure 32 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Randogne 2¹

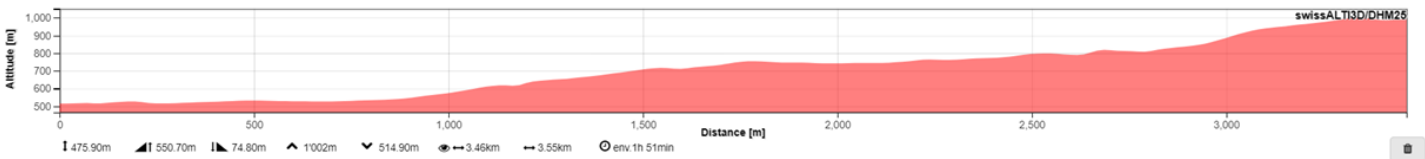


Figure 33 : Profil en long - Randogne 2

3.2.3. Variante 3 : Montana-Village

Le bassin de décantation de Montana-Village est placé après le DO 2, à la sortie du village à une altitude de 870 m. Ce bassin recueille les eaux des conduites venant de Montana et de Montana-Village avec une chute brute de 329 m. Il est implanté sur une zone forestière et la conduite traverse des zones pour la pratique d'activités sportives, agricoles et forestières. La Figure 34 représente l'implantation du bassin pour Montana-Village sur le schéma synoptique.

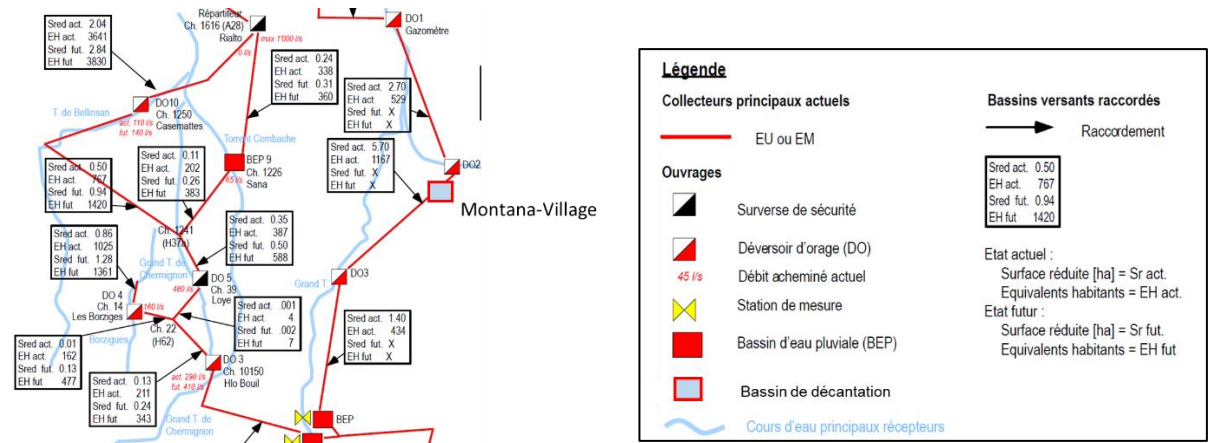


Figure 34: Implantation du bassin pour Montana-Village

La Figure 35 représente l'implantation du bassin et de la conduite en fonction de l'affectation des zones. La Figure 36 représente le profil en long de la conduite, avec la hauteur de chute, l'altitude du bassin et la longueur de la conduite qui est de 2.7 km.

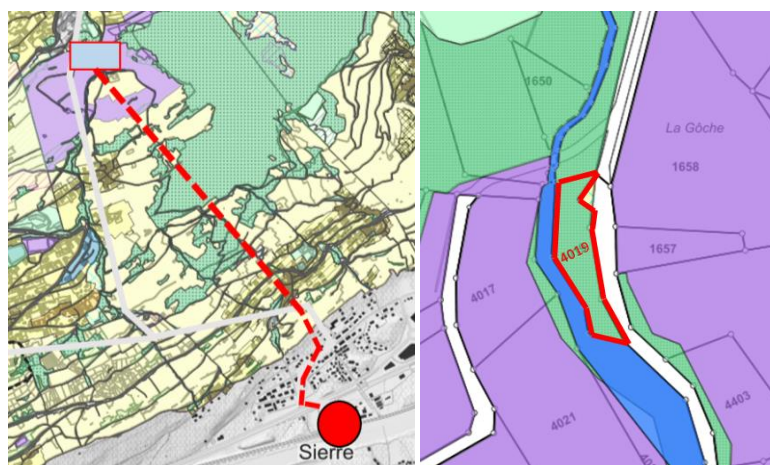


Figure 35 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Montana-Village¹

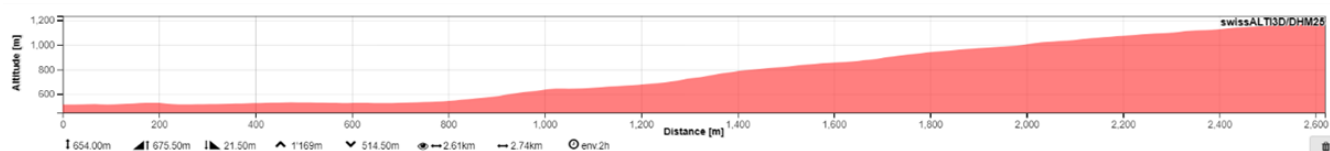


Figure 36 : Profil en long - Montana- Village

3.2.4. Variante 4 : Chermignon et Montana

Le bassin de décantation de Chermignon et Montana est implanté après le BEP 238, après la jonction de la conduite venant de Chermignon et de Montana-Village à 1190 m d'altitude. Il est implanté sur une zone agricole et la conduite traverse des zones agricoles et forestières. Il récupère les eaux de Montana-Village et d'une partie de Montana. La chute brute est de 654 m. La Figure 37Figure 28 représente l'implantation du bassin pour Chermignon et Montana sur le schéma synoptique.

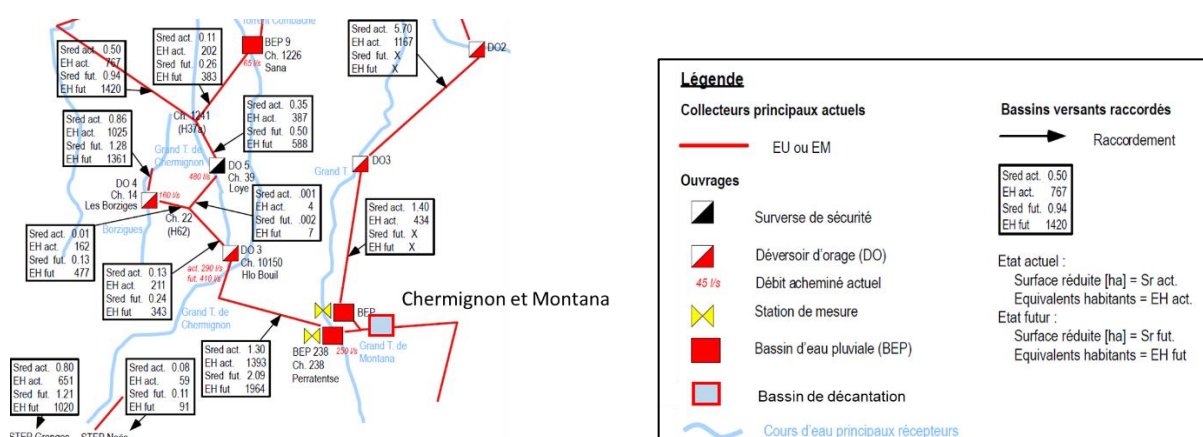


Figure 37: Implantation du bassin pour Chermignon et Montana

La Figure 38 représente l'implantation du bassin et de la conduite en fonction de l'affectation des zones. La Figure 39 représente le profil en long de la conduite, avec la hauteur de chute, l'altitude du bassin et la longueur de la conduite, qui est de 2.1 km.

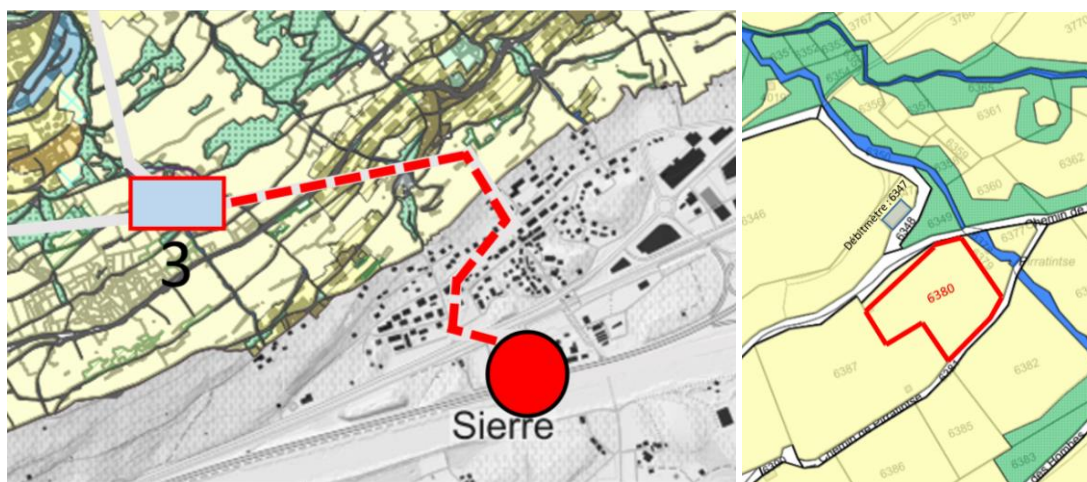


Figure 38 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Chermignon et Montana¹

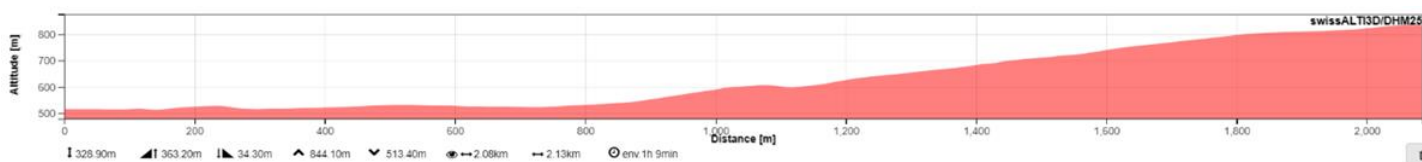


Figure 39 : Profil en long de la conduite de Chermignon et Montana

3.2.5. Variante 5 : Montana 1

Le bassin de décantation de Montana 1 est implanté avant le village de Chermignon-d'en-Haut, après la jonction des conduites venant du BEP 9 et du DO 10, à 1400 m d'altitude, avec une chute de 893 m. Il est implanté sur une zone agricole et la conduite traverse des zones pour la pratique d'activités sportives, agricoles et forestières. La Figure 40Figure 28 représente l'implantation du bassin pour Montana 1 sur le schéma synoptique.

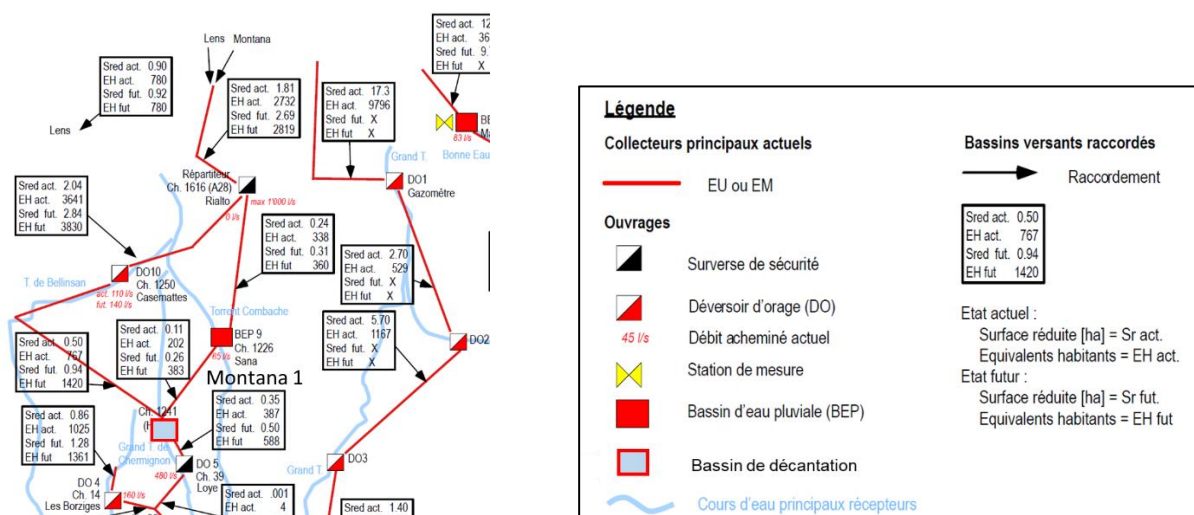


Figure 40: Implantation du bassin pour Montana 1

La Figure 41 représente l'implantation du bassin et de la conduite en fonction de l'affectation des zones. La Figure 42 représente le profil en long de la conduite, avec la hauteur de chute, l'altitude du bassin et la longueur de la conduite, qui est de 3.8 km.



Figure 41 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Montana 1¹

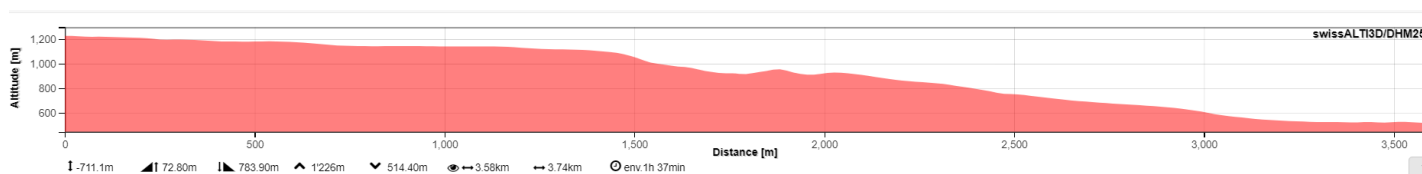


Figure 42 : Profil en long - Montana 1

3.2.6. Variante 6 : Montana 2

Le bassin de décantation pour la conduite de Montana 2 est implanté après le DO 10, à la sortie du village de Montana à une altitude de 1200 m. Il est implanté sur une zone forestière et la conduite traverse des zones agricoles et forestières. La chute est de 710 m. La Figure 43 Figure 28 représente l'implantation du bassin pour Montana 2 sur le schéma synoptique.

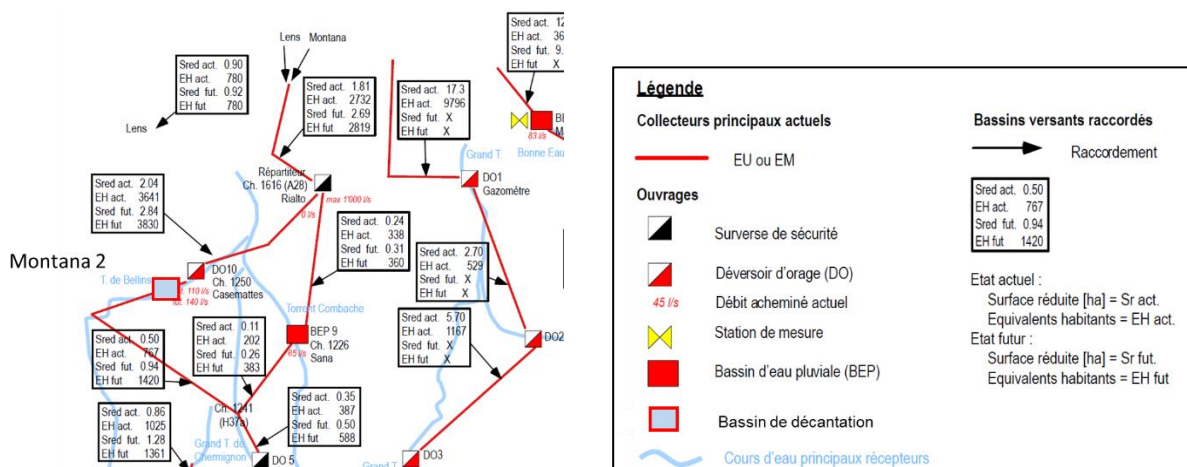


Figure 43: Implantation du bassin pour Montana 2

La Figure 44 représente l'implantation du bassin et de la conduite en fonction de l'affectation des zones. La Figure 45 représente le profil en long de la conduite, avec la hauteur de chute, l'altitude du bassin et la longueur de la conduite, qui est de 4.4 km.



Figure 44 : Tracé de la conduite et emplacement du bassin pour Montana 2¹

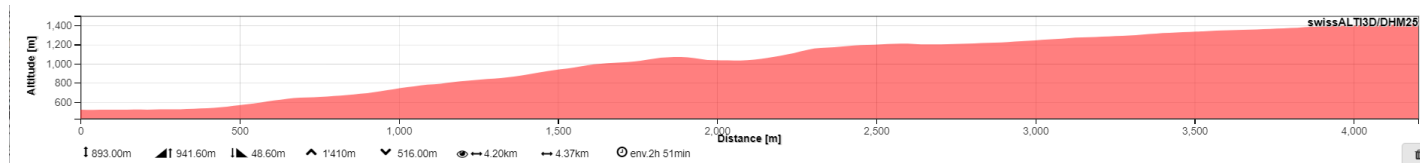


Figure 45 : Profil en long - Montana 2

3.2.7. Synthèse

La synthèse des variantes est exposée dans le Tableau 3. Pour chacune de ces variantes, la centrale est implantée en aval, à proximité de la STEP à environ 514 m d'altitude. Cet emplacement sera défini au chapitre 4.6.

Variantes		Chute brute	Longueur de conduite
		[m]	[km]
1	Randogne 1	201	2.5
2	Randogne 2	476	3.6
3	Chermignon et Montana	329	2.1
4	Montana-village	654	2.7
5	Montana 1	710	3.8
6	Montana 2	893	4.4

Tableau 3 : Synthèse des différentes variantes

3.3. Hydrologie

Les mesures de débits, en m³/h ont été fournies par la STEP de Noës. Les valeurs retenues sont celles des débitmètres de Chermignon (1), Montana (2) et Randogne (3). Avec ces débits, un tracé journalier et annuel a pu être effectué, ainsi qu'une moyenne journalière pour tracer les courbes de débits classées pour chaque conduite. L'emplacement des débitmètres pour les débits retenus sont ceux présentés dans la Figure 46.

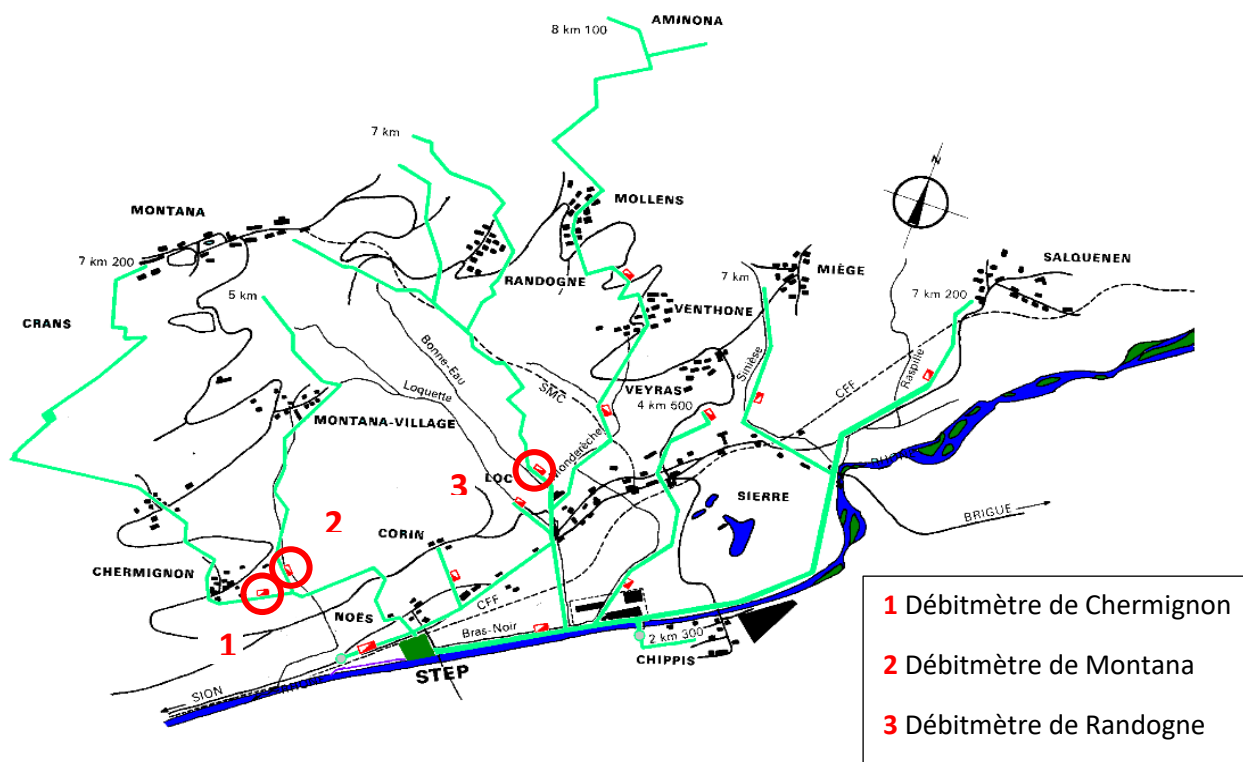


Figure 46 : Emplacement de débitmètres

3.3.1. Tendances annuelles

Premièrement, les volumes d'eau horaires utilisés sur une journée de chaque saison ont été étudiés. Les Figure 47 à 49 représentent les courbes de débit journalières de chaque conduite en fonction des saisons pour l'année 2018. Comme il peut être observé sur la Figure 47, la Figure 48 et la Figure 49 que les volumes varient selon la saison. C'est en mars que les débits sont les plus importants, comme le montre également la Figure 50. Cette période correspond à un afflux important de touriste durant les semaines de relâche. Durant une journée, les volumes augmentent surtout durant la matinée à partir de 6h, durant la période de midi ainsi que le soir. Cette observation est flagrante sur Figure 48 pour le village de Montana. Les pics sont très marqués entre 6h et 10h, entre 11h et 14h et entre 17h et 21h. Ces pics correspondent aux périodes d'activité des habitants, soit le réveil, le dîner et le soir. Durant une journée hors saison (avril à décembre) les volumes varient en moyenne de 50 à 120 m³. Durant la période touristique (janvier à avril), ils varient entre 90 et 180 m³.

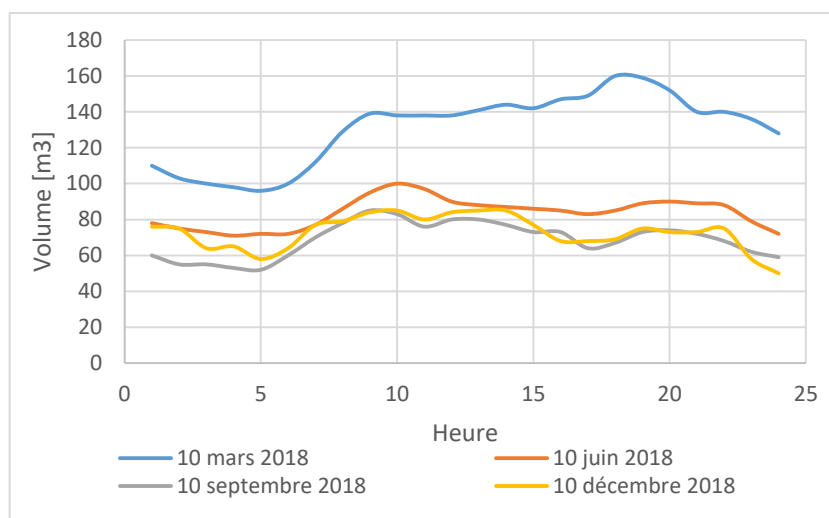


Figure 47 : Débits horaires pour Chermignon

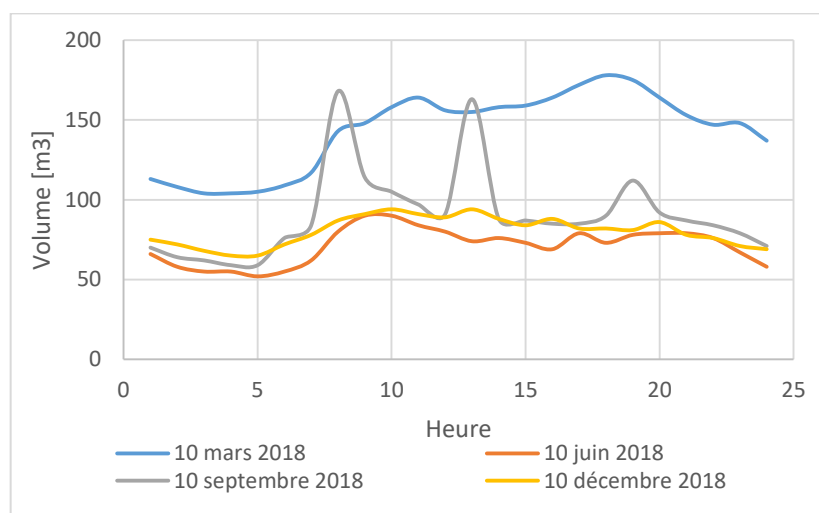


Figure 48 : Débits horaires pour Montana

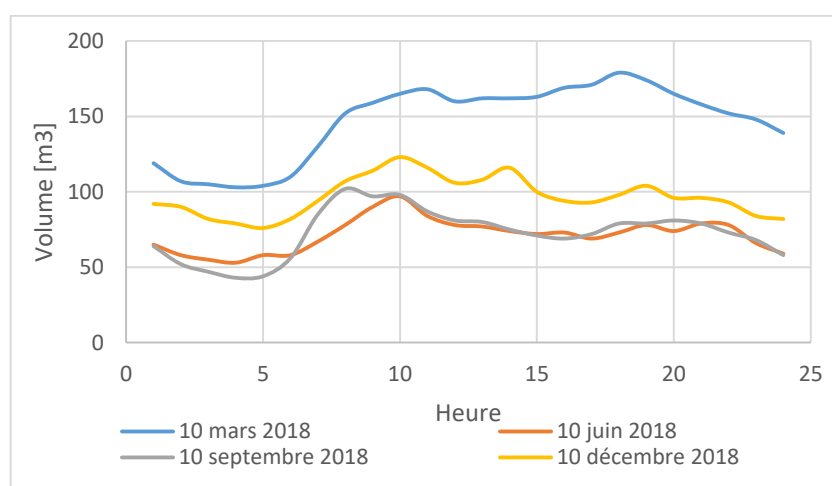


Figure 49 : Débits horaires pour Randogne

3.3.2. Tendances régions de montagne

Suivant les années, il est possible d'observer une différence dans l'évolution des débits au cours des saisons. Les courbes de débit pour chaque année, pour les trois communes concernées, sont présentées en annexe 9.2. Figure 50 représente les débits de l'année 2017. Cette année fut sélectionnée, car les données sont complètes sur l'année.

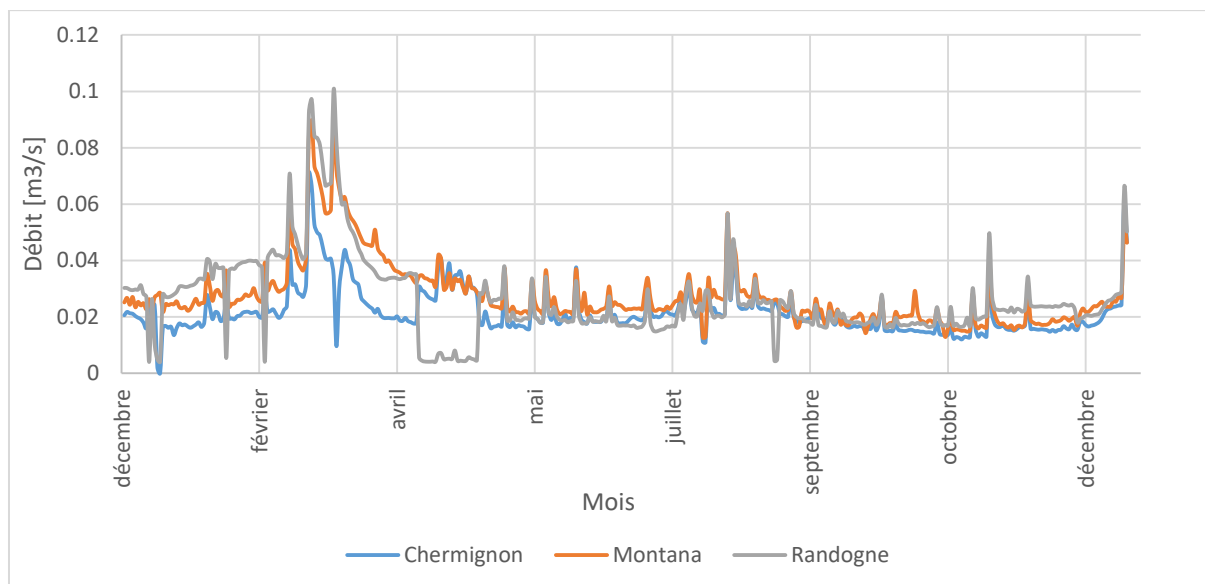


Figure 50 : Débits des communes en 2017

Suivant l'année, les débits sont plus ou moins variables. Néanmoins, le débit est plus élevé durant les mois de mars à mai. Il peut aller de 0.02 à 0.1 m³/s durant la période hivernale, et atteindre une moyenne de 0.03 m³/h le restant de l'année. Il existe également des années, comme en 2011, où la consommation reste relativement constante sur toute l'année. Les scénarios les plus courants restent tout de même ceux du pic hivernal. La Figure 51 représente cette année 2011 où le débit commence à varier fortement en décembre.

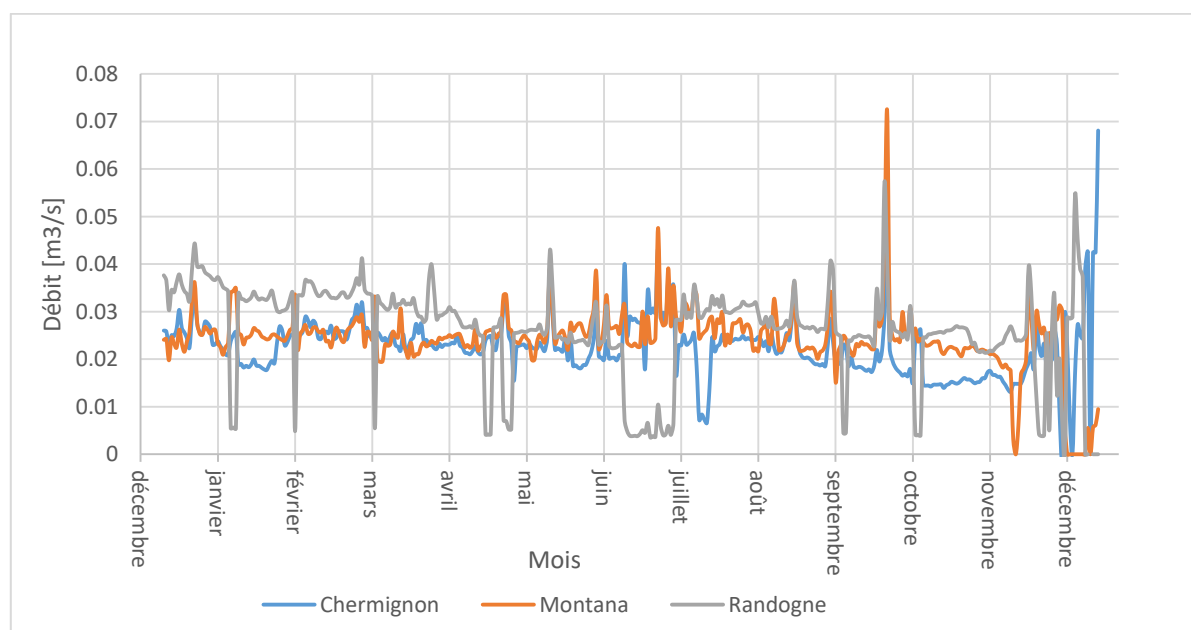


Figure 51 : Débits des communes en 2011

3.3.3. Courbes de débits classés

Les premiers résultats obtenus pour le dimensionnement de l'installation et l'estimation de potentiel sont les courbes de débits classés par commune, sur une période de 11 ans. A l'aide de ces derniers, le débit d'équipement peut être déterminé. Ces débits servent également à avoir une vision annuelle de la consommation d'eau suivant les communes. Dans le cas présent, seules les communes de Chermignon, Montana et Randogne sont concernées.

Les débits sont classés selon leur occurrence durant une année. Le débit moyen par jour est retenu et classé du plus grand au plus petit. De cette manière, les courbes de débits classés pour chaque commune, sur 11 ans, sont tracées.

Ce graphique permet de déterminer le débit maximal et le débit présumé de l'installation pour chaque commune. L'allure de la courbe de débit de chaque commune est présentée en annexe 9.3. Ici, seuls les débits ayant une occurrence suffisante sont pris en compte. Comme il peut être remarqué en annexe 9.3, les débits peuvent monter jusqu'à 2 m³/s lors de la fonte des neiges (mars 2008). Mais ces valeurs sont exceptionnelles et ne seront donc pas prises en compte. Suivant les courbes obtenues sur la Figure 52, la Figure 53 et la Figure 54 les débits maximums seraient respectivement pour Chermignon, Montana et Randogne, 0.08 m³/s, 0.1 m³/s et 0.13 m³/s, dans le cas où le débit maximal à turbiner serait retenu. Le débit d'équipement est en général celui présent durant au moins 50 jours par an, de manière à permettre à la turbine de fonctionner durant une plus longue période avec un bon rendement. Dans ce cas, les débits considérés seraient respectivement 0.04 m³/s pour Chermignon et 0.06 m³/s pour Montana et Randogne.

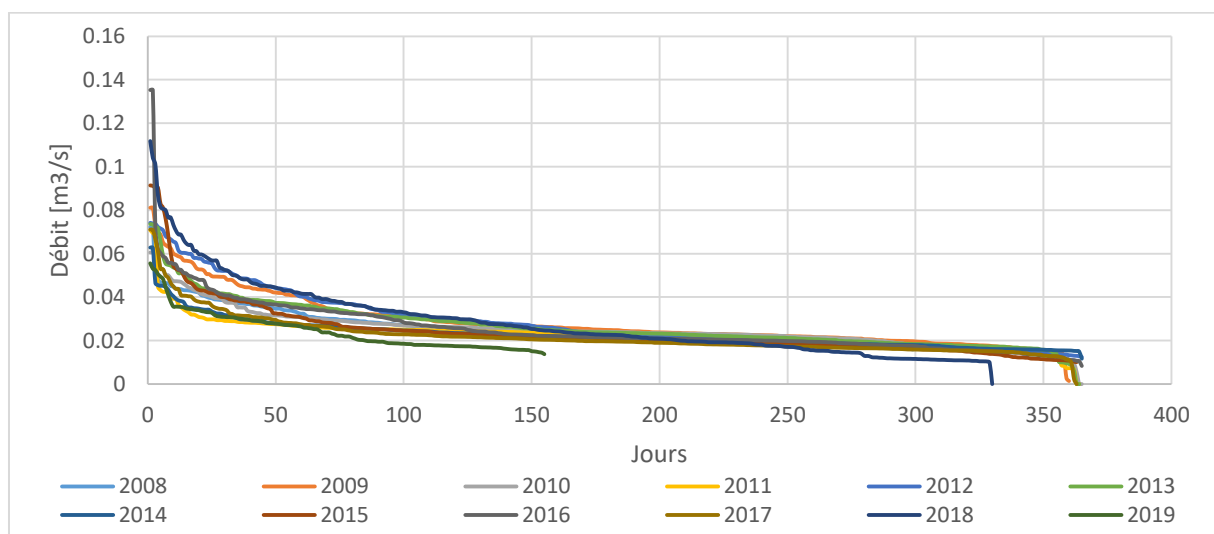


Figure 52: Courbe de débits classés pour Chermignon

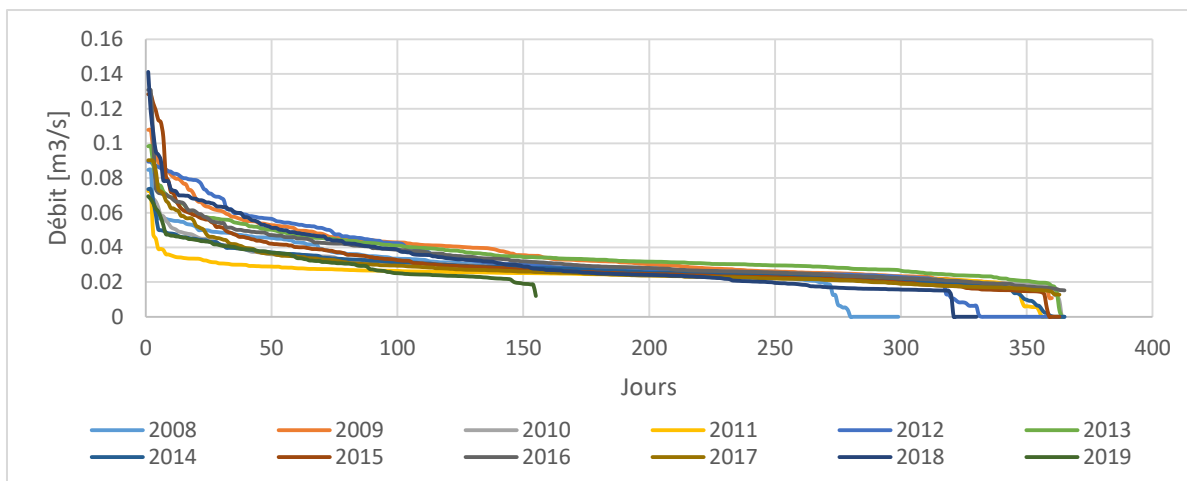


Figure 53: Courbe de débits classés pour Montana

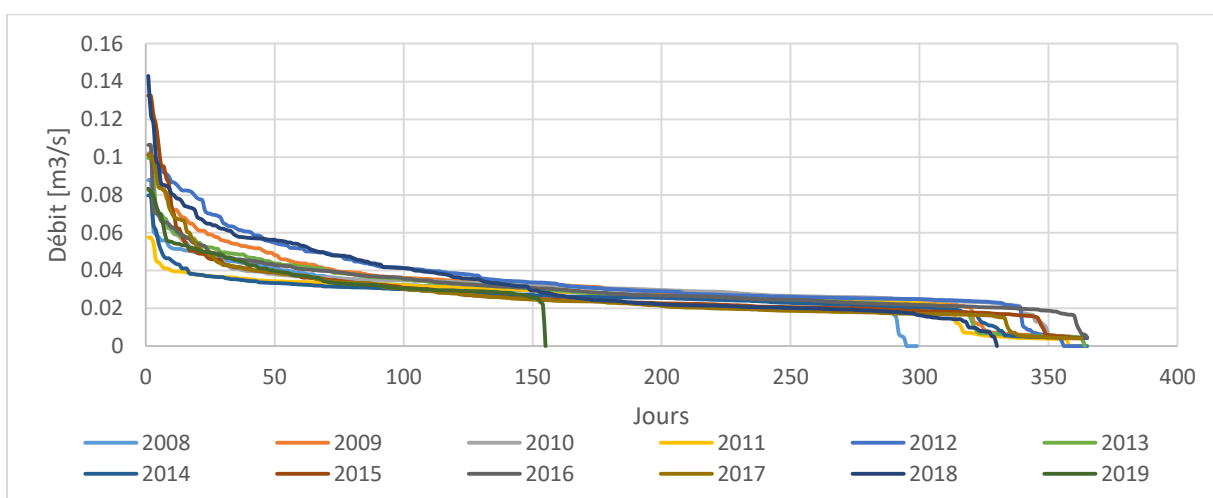


Figure 54: Courbe de débits classés pour Randogne

La Figure 55 représente les débits additionnés des deux conduites principales de Chermignon et de Montana. Le débit maximal obtenu après la jonction des conduites est de $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que le débit présent 50 jours par an est de $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$.

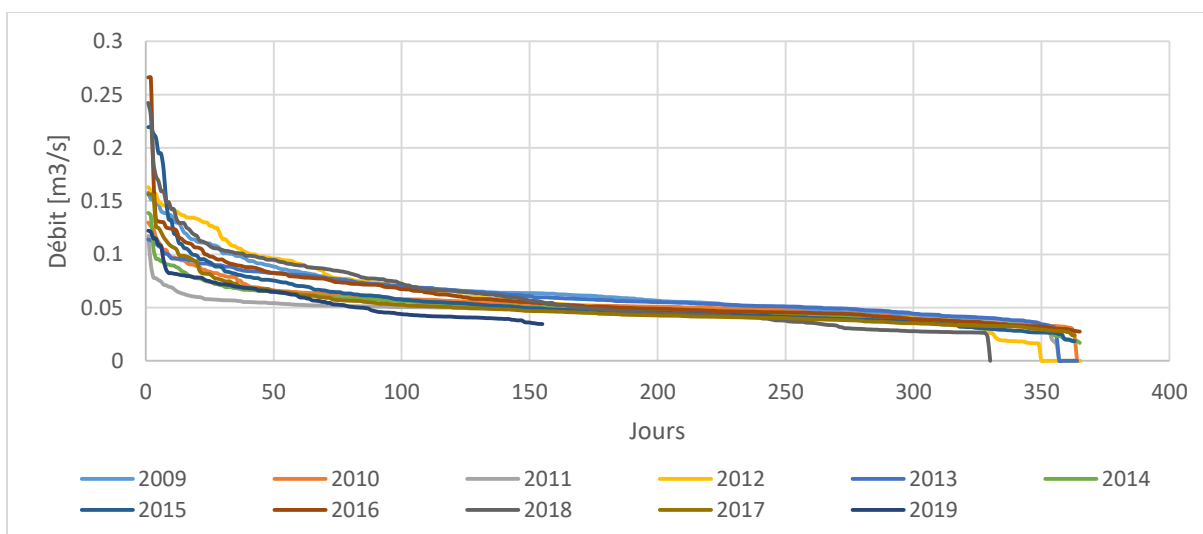


Figure 55 : Courbe de débits classés après la jonction de Chermignon et Montana

4. Dimensionnement préliminaire

Le dimensionnement de l'installation est effectué de manière à optimiser la rentabilité, sans pour autant baisser les exigences concernant le matériel. Les éléments standardisés seront préférés au surcoût que peut engendrer du sur-mesure.

4.1. Choix du débit d'équipement

Pour les variantes 1, 2, 3 et 4, le débit d'équipement a été choisi sur la base des courbes de débits classés à Q_{50} , soit le débit présent au moins 50 jours par an. Il est tiré des courbes de débits classés.

Les débits n'étant mesurés qu'aux BEPs de Chermignon, Montana-Village et Randogne (cf chapitre 3.2, Figure 46), le volume d'eau consommé par habitant a dû être estimé pour les variantes Montana 1 et 2, ainsi que pour celle de Montana-Village, à l'aide du schéma synoptique du réseau (pour le plan d'évacuation des eaux) fourni par le bureau d'ingénieurs BISA (Annexe 9.5). Cette évaluation est effectuée en prenant l'équivalent habitant pour chaque bout de conduite, et en les additionnant pour obtenir le nombre d'habitants total. Avec ce nombre, il est possible d'obtenir la consommation par habitant et par conséquent, de déterminer le volume d'eau présent dans chaque bout de conduite. La consommation s'élève à 318 l/jour/habitant, en comptant les eaux de pluie, qui représentent environ 50% du débit arrivant à la STEP. Le Tableau 4 représente les débits d'équipement de chaque variante.

Variante	Débit [m ³ /s]
Randogne 1	0.06
Randogne 2	0.06
Chermignon et Montana	0.08
Montana-Village	0.04
Montana 1	0.03
Montana 2	0.02

Tableau 4 : Débits d'équipement de chaque variante

4.2. Caractéristique des conduites

Les réseaux d'eaux usées sont ramifiés, et fonctionnent en utilisant la gravité. Pour éviter les instabilités, l'écoulement doit rester à surface libre. La conduite doit permettre à l'air de circuler pour éviter la mise en charge. La vitesse d'écoulement doit être suffisante pour éviter les dépôts. Ces réseaux comportent des éléments particuliers tels que des chambres de visite, des déversoirs d'orage ou des bassins d'eaux pluviales. L'écoulement de ce système est non-stationnaire, car il dépend des cycles de consommation d'eau et des précipitations. Les débits de dimensionnement des conduites sont définis par le Plan Général d'Evacuation des Eaux (PGEE), fourni par BISA. Le diamètre minimal et normalisé des conduites est de 250 mm. [19]

Choix des matériaux

Le dimensionnement et le choix des matériaux passent par les pertes de charge que les conduites engendrent. Elles sont sélectionnées pour supporter la pression maximale y régnant, en ajoutant une marge de 10% à la pression statique maximale.

Dans ce cas d'étude, comme cité au chapitre 3.3, de nouvelles conduites forcées doivent être implantées en partant des bassins de décantation pour arriver à la STEP. Les tuyaux choisis sont en fonte ductile, car la pression dans les conduites est trop élevée pour permettre l'utilisation de conduites en plastique. Cette pression limite est de 16 bars. Il s'agit d'un alliage de fer avec plus de 2 % de carbone. Pour éviter toute rouille et diminuer la rugosité, ces tuyaux ont un revêtement

intérieur en polyuréthane (PUR), qui est particulièrement lisse (avec une rugosité $K \leq 0,01$ mm). La paroi extérieure est en général aussi revêtue et protégée, par exemple par du zinc. Les pressions nominales des tuyaux eux-mêmes sont élevées, par exemple 85 bar pour les diamètres les plus petits [20].

Pertes de charge

Pour dimensionner les conduites, il faut prendre en compte le diamètre économique de ces dernières. Pour chaque variante, les pertes de charge dans les conduites sont calculées à l'aide des *équations 1 et 2* (formule de Colebrook). Pour déterminer les pertes linéaires, il est nécessaire de connaître la valeur du coefficient de pertes de charge linéaire λ , estimé par l'*équation 4*, pour chaque dimension de conduite testée. Ces dernières vont de 100 à 700 mm de diamètre.

La chute nette se calcule à partir de la chute brute, à laquelle on soustrait les pertes de charge, qui se décomposent sous forme de pertes linéaires et singulières (*équations 3 et 4*); avec D_h : le diamètre hydraulique en [m], C : la vitesse moyenne dans la conduite en [m/s], λ : le coefficient de perte de charge linéaire, ξ : le coefficient pour les pertes singulières et ΔH_r : la somme des pertes linéaires et singulières.

Dans ces équations, c représente la vitesse d'écoulement, D_h le diamètre hydraulique et L la longueur de la conduite. La valeur ξ représente le coefficient de pertes de charges singulières.

$$\sum_{linéaires} Hr = \lambda * \frac{L}{D_h} * \frac{C^2}{2g} \text{ [m]} \quad (1),$$

$$\sum_{singulières} Hr = \xi * \frac{C^2}{2g} \text{ [m]} \quad (2)$$

$$\sum Hr = \sum_{linéaires} Hr + \sum_{singulières} Hr \quad (3)$$

Le coefficient λ se calcul grâce à l'équation suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda_0}} + 0.27 * \frac{D}{K}\right) \quad (4)$$

Il est également essentiel de connaître le nombre de Reynolds, qui servira à déterminer la nature de l'écoulement dans les conduites (laminaire ou turbulent) ainsi que le coefficient de pertes de charges linéaire. Il est exprimé dans l'*équation 5*.

$$Re = \rho * D * \frac{C}{\mu} \text{ [-]} \quad (5)$$

La vitesse à l'intérieur des conduites servira aussi au dimensionnement du diamètre de ces dernières. L'*équation 6* décrit cette vitesse, où Q [m³/s] est le débit et A [m²] la section de la conduite.

$$C = \frac{Q}{A} \left[\frac{m}{s}\right] \quad (6)$$

La Figure 56 représente le diagramme de Moody, qui permet une première estimation de λ .

Dans l'équation 3, la rugosité K est fixée à 0.01 [mm], soit la valeur maximale de ce coefficient pour ce type de matériau. À l'aide du nombre de Reynolds (bleu, *équation 4*), et du résultat de D/K qui est entre 20'000 et 30'000 (orange), un λ_0 peut être déterminé suivant la Figure 56, pour l'intégrer à l'équation finale de λ (équation 3). La zone rouge représente la plage des valeurs de λ possibles. Il est donc fixé à 0.01 pour l'ensemble des conduites. Les valeurs finales de λ seront néanmoins différentes pour chaque conduite, car elles seront déterminées en fonction de l'équation 3.

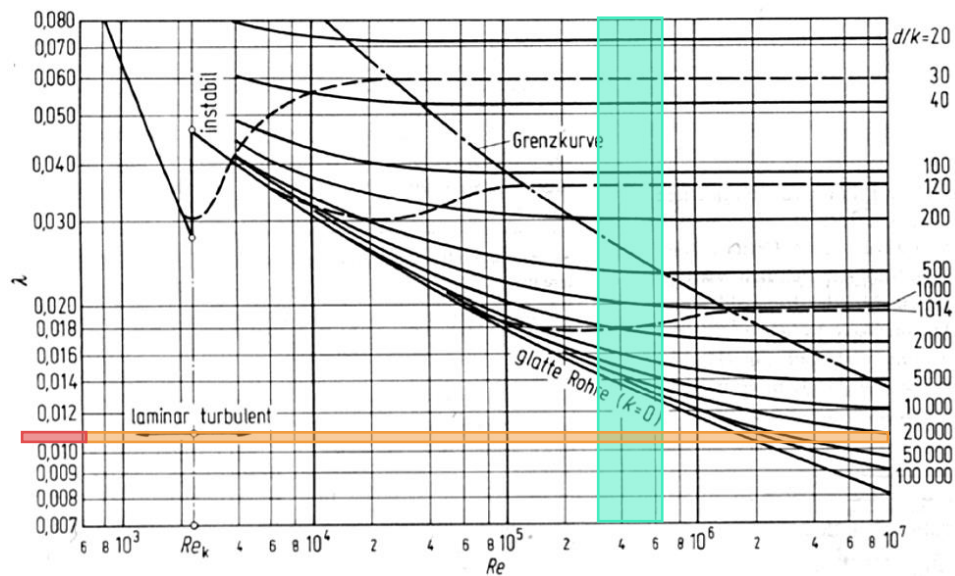


Figure 56 : Coefficient de perte de charge singulière [21]

Au niveau du calcul des pertes singulières, le coefficient ζ est déterminé en fonction du type d'embouchure ou de changement de section. Ici, l'embouchure est du même type que pour un barrage au niveau des bassins de décantation. Le coefficient est donc fixé à 0.5, suivant la Figure 57, qui représente les différentes embouchures avec les coefficients correspondants.

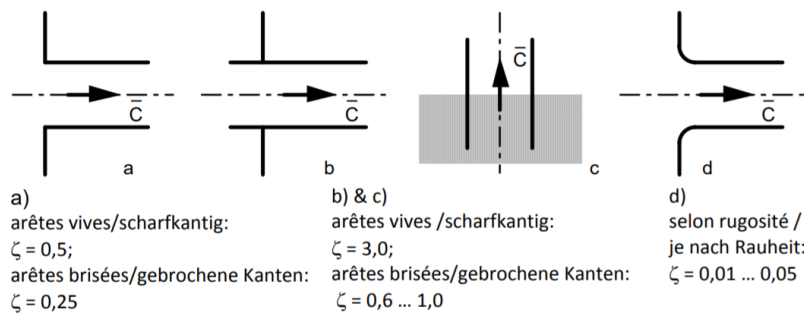


Figure 57 : Coefficient de perte de charge singulière [22]

Calcul du diamètre économique

Une fois les coefficients et les pertes de charge singulières et linéaires déterminés, la chute nette est obtenue en soustrayant le total des pertes à la chute brute. En utilisant l'équation 7, le rendement de la conduite ($\eta_{conduite}$) est déterminé. H_n est la chute nette et H_b la chute brute exprimée en [m].

$$\eta_{conduite} = \frac{H_n}{H_b} * 100 \quad (7)$$

Différentes variantes peuvent être choisies. La meilleure est déterminée en comparant le rapport entre le rendement de la conduite et les coûts d'exploitation annuels. Il sera donc plus avantageux de choisir un rendement légèrement plus faible, pour gagner au niveau des frais annuels. Dans le cas présent, les frais principaux à prendre en compte sont les frais d'entretien (C_{ent}) et les coûts annuels d'investissement (C_{am}). Ces deux valeurs (équation 9 et 10) additionnées donnent les coûts annuels pour l'installation.

L'équation 8 représente les coûts linéaires de la conduite, soit le prix du mètre d'une conduite en fonte ductile d'un diamètre donné. [22]

$$C_{cond_{lin_Fonte_ductile}} = (0.0012 * D^2 + 0.2897 * D + 13.604) \left[\frac{CHF}{ml} \right] \quad (8)$$

$$Cam = \frac{C_{cond_{lin}} * Taux_{entretien} * (1 + Taux_{entretien})^{années\ d'amortiss.}}{(1 + Taux_{entretien})^{(années\ d'amortiss. - 1)}} \left[\frac{CHF}{ml} \right] \quad (9)$$

$$Cent = C_{cond_{lin}} * 0.005 \left[\frac{CHF}{ml} \right] \quad (10)$$

Synthèse

Les caractéristiques des conduites de chaque variante sont présentées dans le Tableau 5. La fonte ductile fut choisie comme matériau de construction pour toutes les conduites, principalement pour sa résistance aux hautes pressions et sa faible rugosité due au revêtement intérieur.

Les conduites ont été choisies en fonction du diamètre économique mais également en fonction du rendement, qui se situe entre environ 90% et 95%.

Variante		1	2	3	4	5	6
		Randogne 1	Randogne 2	Cherm. et Mont.	Montana- village	Montana 1	Montana 2
Débit eq	[m3/s]	0.06	0.06	0.08	0.04	0.03	0.02
Chute brute	[m]	201	476	329	654	710	893
Longueur de conduite	[km]	2.5	3.6	2.1	2.7	3.8	4.4
D	[mm]	300	300	300	250	200	200
C	[m/s]	1.9	1.9	2.5	1.3	1.0	0.6
Re	[-]	2.55E+05	2.55E+05	3.40E+05	3.06E+05	1.91E+05	1.27E+05
K	[-]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
λo	[-]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
λ	[-]	1.52E-02	1.52E-02	1.45E-02	1.48E-02	1.42E-02	1.74E-02
Pertes de charge linéaires	[m]	4.60	6.71	3.44	10.84	11.27	7.20
Pertes de charge singulières	[m]	0.018	0.018	0.033	0.017	0.023	0.010
Hn	[m]	196	469	326	643	699	886
Rendement	[%]	97.78	98.59	98.95	98.96	98.41	99.19

Tableau 5 : Dimensions et variables des conduites

4.3. Turbine

Plusieurs types de turbine sont utilisables pour le turbinage des eaux usées, dont la turbine Francis, la turbine Kaplan, la turbine Pelton, la Vis d'Archimède ainsi que la pompe inversée. Les différentes turbines avec leur plage de fonctionnement sont présentées sur la Figure 58.

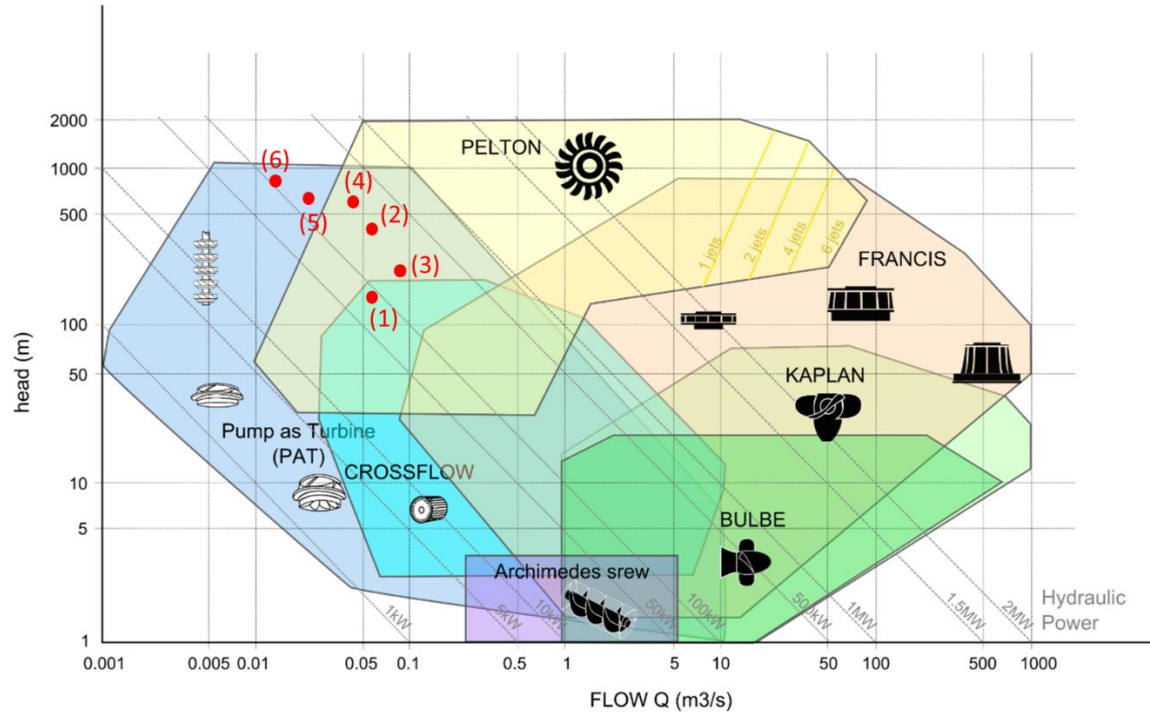


Figure 58 : Plage de fonctionnement des turbines [23] [22] [24] [25] [26]

Pour nos différentes variantes, c'est la turbine Pelton qui sera la plus adaptée selon la chute et le débit d'équipement. Le Tableau 6 présente les avantages et les inconvénients de ce type de machine pour turbiner les EU.

	Avantages	Inconvénients	Application
Pelton	<i>Maintenance démanteler</i> <i>Géométrie idéale</i> <i>Réponse rapide (puissance de réglage)</i> <i>Bon rendement (90%)</i>	<i>Pointeaux captent les résidus</i>	<i>Hautes chutes (> 100m) et faible débit</i>

Tableau 6: Avantages et inconvénients des turbines [27]

Pour dimensionner une turbine Pelton, il est nécessaire de mettre en place plusieurs équations, présentées schématiquement dans la Figure 59 et la Figure 60. Il est d'abord important de connaître le débit d'équipement, la chute nette et le type de réseau auquel l'installation sera raccordée. De ces informations sont tirées la vitesse théorique des jets, de vitesse de rotation et la vitesse spécifique. Ces données intermédiaires permettent de déterminer les dimensions et les caractéristiques de la turbine.

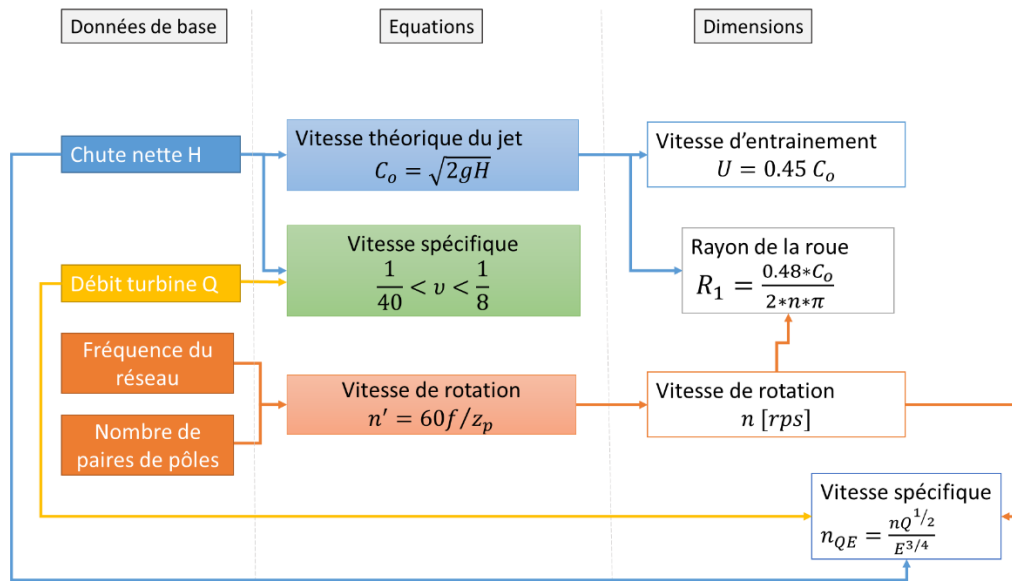


Figure 59 : Equations pour le dimensionnement d'une turbine Pelton [22]

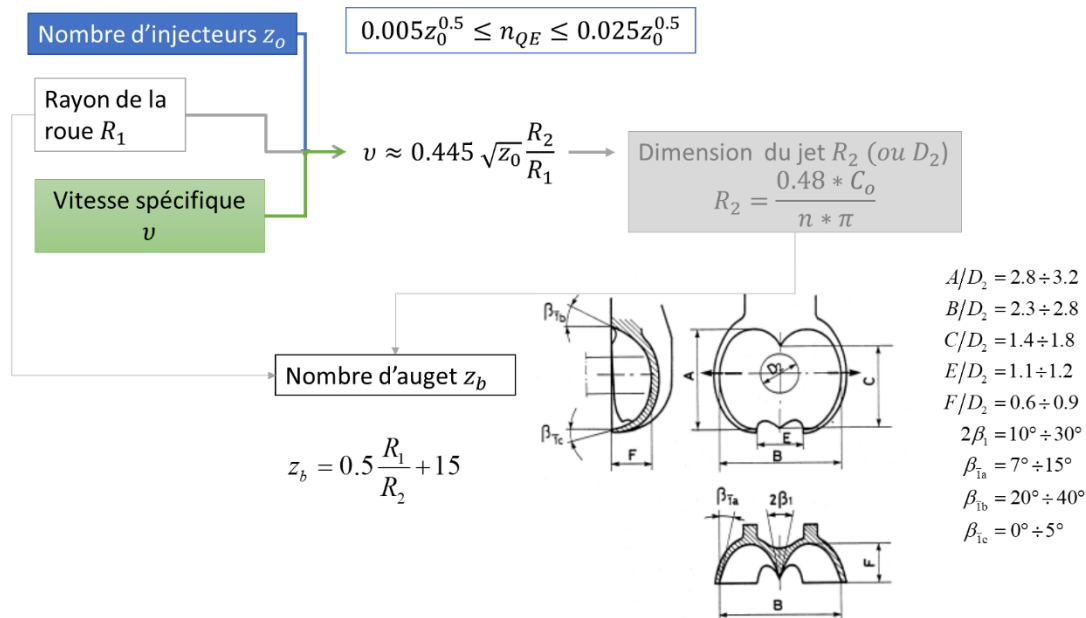


Figure 60 : Equations pour le dimensionnement des augets [22]

Différentes vitesses de génératrice ont été testées, allant de 250 à 3000 t/min, en prenant une fréquence du réseau de 50 Hz. Il s'est avéré que les petites vitesses de rotation ne permettaient pas à la vitesse spécifique v de rester dans la plage de valeurs [0.025 ; 0.125]. Une fois que la vitesse de rotation est déterminée, le rayon de la roue et celui du jet peut être calculé. Le nombre d'injecteur possible peut être de 1 ou 2. Le choix de sélectionner 2 injecteurs s'est imposé, car la flexibilité est plus grande que lors de l'utilisation d'un injecteur, notamment en cas de problème technique. Finalement, le nombre d'augets est déterminé, ainsi que les dimensions de ces derniers, calculées selon les équations de la Figure 60. Si le nombre d'injecteurs diminue, le nombre d'augets diminue également. Le Tableau 7 présente les caractéristiques principales des turbines des variantes 1, 2, 3 et 4 pour lesquels une turbine a pu être dimensionnée. Pour les variantes 5 et 6, les résultats de vitesse spécifique n_{QE} sont hors de la plage prescrite dans la Figure 60 : ces variantes sont naturellement abandonnées dans la suite du projet.

Variante		1	2	3	4
dénomination		Randogne 1	Randogne 2	Cherm. et Mont.	Montana-village
Hn	[m]	196	469	326	643
Débit dim	[m3/s]	0.06	0.06	0.08	0.04
Co	[m/s]	62.07	95.95	79.92	112.33
U	[m/s]	27.93	43.18	35.96	50.55
n'	[rpm]	1000	3000	3000	3000
Zp	[-]	3	1	1	1
Zo	[-]	2	2	2	2
E	[J/kg]	1927	4604	3193	6309
n_QE	[-]	0.014	0.022	0.033	0.014
R1	[m]	0.285	0.137	0.114	0.161
R2	[m]	0.012	0.010	0.013	0.008
v	[-]	0.030	0.046	0.070	0.030
nbr d'augets	[-]	26	22	19	26
A	[mm]	21.71	17.65	22.34	13.32
B	[mm]	20.38	16.57	20.97	12.51
C	[mm]	19.29	15.69	19.86	11.84
E	[mm]	22.74	18.49	23.40	13.96
F	[mm]	16.54	13.45	17.02	10.15

Tableau 7 : Variables et valeurs de dimensionnement des turbines pour les trois variantes retenues

Les résultats complets de ces calculs pour toutes les différentes variantes et vitesses de rotation se trouvent en annexe 9.6.

Suite à la demande de devis à l'entreprise MhyLab (labo spécialisé dans le dimensionnement de micro-turbines), un nouveau dimensionnement a été réalisé par cette entreprise, en fonction de la vitesse de rotation, qui est fixée à 1'500 rpm pour toutes les variantes, car la vitesse d'emballement de génératrices de 3'000 rpm est de 5'400 rpm, soit bien trop élevé pour une génératrice de micro-hydraulique. Les détails concernant ce dimensionnement avec les coûts associés sont présentés au chapitre 5.1.

4.4. Bassin de décantation et de mise en charge

Le dimensionnement du bassin de décantation et de mise en charge se base sur la référence de Profray, par manque de connaissance sur les bassins de décantation. Ce bassin de 400m³ avait été dimensionné pour la récolte des eaux pluviales, mais le niveau d'eau présent dans le bassin dépasse rarement le tiers du volume total, soit environ 135 m³. Ce bassin est dimensionné pour récolter des débits allant de 25 à 100 l/s. Pour chaque variante, une règle de trois est effectuée en prenant les valeurs de Profray comme base, pour la valeur minimale des dimensions des bassins. Pour l'ensemble des variantes, le volume d'eau maximal est choisi pour les dimensions maximales du bassin. Un volume de bassin maximal et un minimal en ressortent. Aux vues du surdimensionnement du bassin de Profray, une moyenne entre le volume maximal et minimal est effectuée. La valeur retenue pour le dimensionnement est le volume moyen, pour permettre d'éviter les surcoûts.

Les dimensions des bassins de chaque variante sont présentées dans le Tableau 8.

		Débit max	Débit min	Volume min	Volume max	Volume moyen
		[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
Variante						
référence	Profray	0.1	0.025	135	400	267.5
1	Randogne 1	0.13	0.02	108	520	314
2	Randogne 2	0.13	0.02	108	520	314
3	Cherm. et Mont.	0.25	0.05	270	1000	635
4	Montana-village	0.09	0.04	216	510	363

Tableau 8 : Volume des bassins pour chaque variante

4.5. Dégrilleur

Pour le dégrilleur, par manque de connaissance et d'information sur les dégrilleur, une finesse de 6mm est choisie, sur la base de la centrale de Profray. Il est dimensionné pour un débit deux fois supérieur à celui mentionné, car si la grille s'engorge, le débit ne passe plus. Le dégrilleur est de type RakeMax®, permettant au débit de passer avec un minimum de pertes de charge, car sa partie dégrillage est inclinée à 30°. Il retient également les fibres grâce à la grille au fond du canal [28].

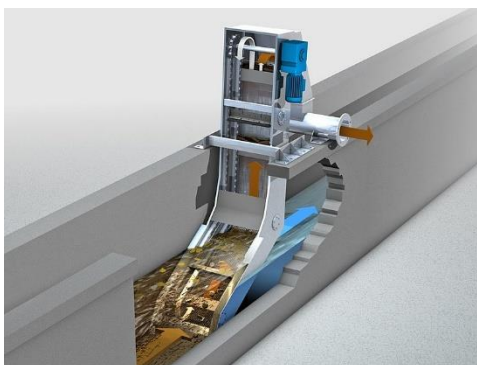


Figure 61 : Exemple de dégrilleur RakeMax®

4.6. Autre équipement

Centrale

La centrale est implantée à proximité de la STEP, proche de l'arrivée des conduites existante, avant le départ des Vis d'Archimède. Le bâtiment a les dimensions suivantes : 8 m de large, 10 m de long et 3 m de haut, soit une surface au sol 80 m² et un volume de 240 m³. Ces dimensions sont tirées d'informations données par Mme Irène Samora, docteur en ingénierie chez BG Ingénieurs Conseils [mail du 24.07.2019].

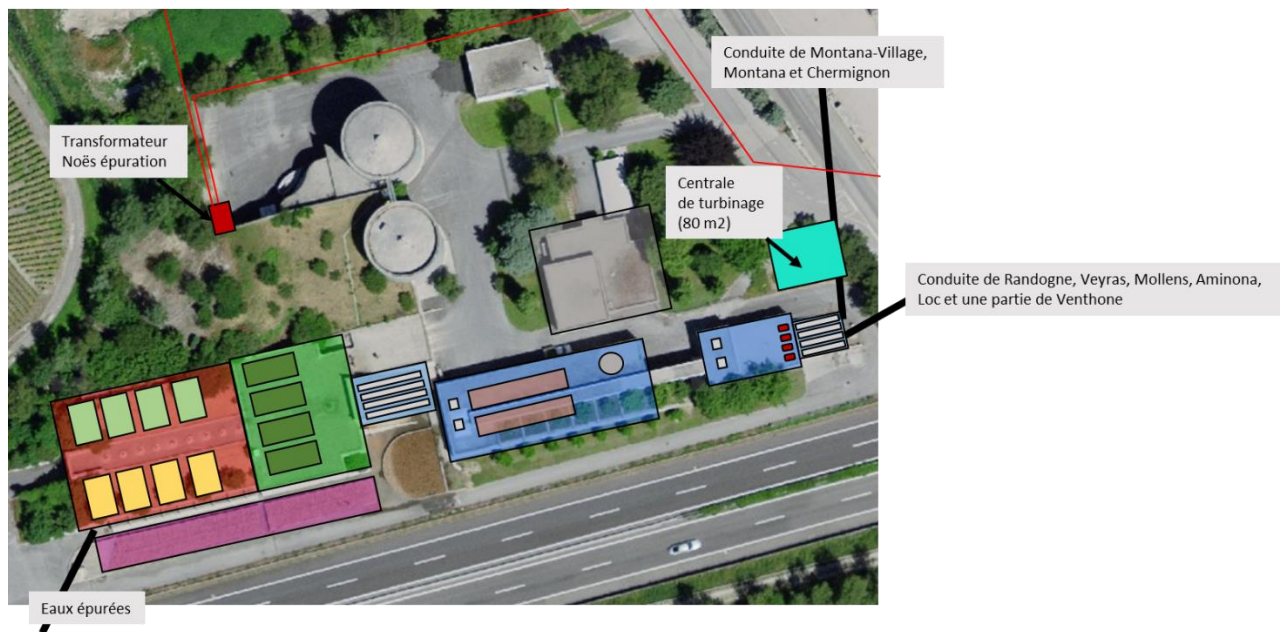


Figure 62: Emplacement de la centrale:

Vanne

En amont de la turbine, une vanne de garde et de sécurité de type papillon pour la variante de Randogne 1 et une vanne sphérique pour les autres variantes sont prévues, permettant d'assurer la sécurité en cas de maintenance ou de problèmes techniques. La vanne papillon comprend un disque vertical rotatif, du diamètre intérieur du tuyau, servant d'obturateur de débit. La vanne sphérique permet de supporter plus de pression grâce à la sphère lui servant d'obturateur, elle est donc utilisée pour les chutes de plus de 210 m.

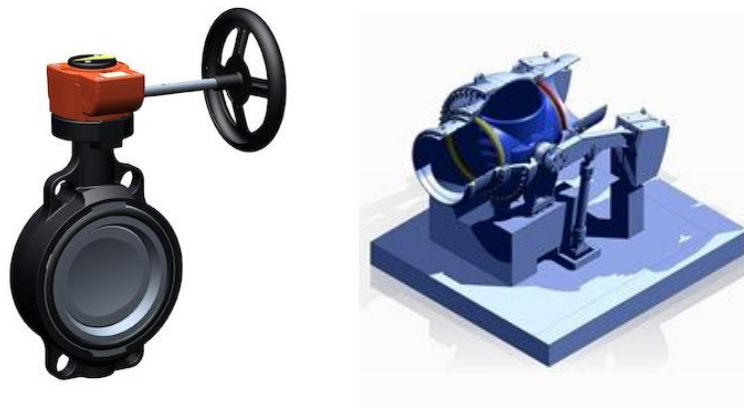


Figure 63 : Exemple de vanne papillon avec réducteur à volant [29] et de vanne sphérique [30]

Générateur

Les générateurs de la catégorie de puissance obtenue sont généralement proposés à des tensions de 400 V, 690 V ou 6'600 V. Dans le cas présent, la solution standard de 400 V est choisie.

Connexion au réseau et transformateur

Le générateur sera connecté au réseau électrique du distributeur local (Sierre Energie) via Le transformateur de NOES Epuration, qui comporte 2 rapports de 1000 kVA et d'une puissance souscrite de 200 kW. Le schéma unifilaire 16 kV et le plan de recensement des transformateurs à proximité de la STEP se trouvent en annexe 9.9.

Contrôle commande

La centrale est prévue pour fonctionner de manière automatique, la régulation se fera donc au niveau de la chambre de mise en charge. En cas de déclenchement du réseau, le redémarrage se fera de manière automatique.

Frais divers

En suivant la Figure 64, qui représente les taux de frais annuels pour l'entretien des éléments de l'installation, les taux moyen sont pris pour chaque type de coûts d'entretien, ce qui donne un total d'environ 7%.

Types de coûts	Taux des frais annuels	Référence pour le calcul des frais
1. Turbine et partie électrique	3 à 6%	Investissement pour les composants concernés
2. Barrage, prise d'eau et conduite forcée	1,2 à 1,6%	Investissement pour les ouvrages concernés
3. Bâtiment de la centrale et installations annexes	0,4 à 0,6%	Investissement pour les ouvrages concernés
4. Taxes, impôts, assurances administration	0,8 à 1,5%	Investissement total

Figure 64 : Taux de frais annuels pour l'entretien [31]

4.7. Calcul de production

Pour déterminer le potentiel, il est nécessaire de savoir la puissance installée. Pour la déterminer, il est nécessaire de connaître les rendements de chaque élément de l'installation. Dans ce cas, ils sont tous fixés à 90%.

$$P_{installée} = P_{hydraulique} * \eta_{turbine} * \eta_{générateur} * \eta_{transformateur} \text{ [W]} \quad (11)$$

$$P_{hydraulique} = Q_{équip} * H_n * \rho * g \text{ [W]} \quad (12)$$

$$P_{hydraulique} = Q * (H_b - \Delta H_r) * \rho * g \text{ [W]} \quad (13)$$

L'énergie totale est calculés comme suit. La Figure 65 représente la méthodologie pour obtenir la puissance totale en utilisant les courbes de débits classés pour déterminer une puissance hydraulique selon les tranches de débit.

$$E = (Phydr_{Q_{0.02}} * 165 + Phydr_{Q_{0.03}} * 100 + Phydr_{Q_{0.04}} * 50 + Phydr_{Q_{max}} * 50) * 24 \left[\frac{Mwh}{an} \right] \quad (14)$$

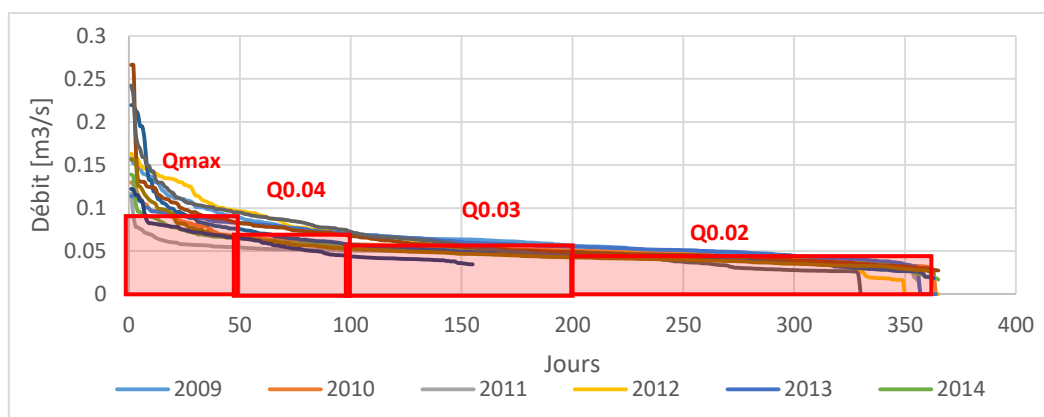


Figure 65 : Calcul des puissances après la jonction de Chermignon et Montana

Comme il peut être observé dans le Tableau 9, les puissances hydrauliques peuvent aller de 99 à 252 kW suivant le débit d'équipement sélectionné. Pour le calcul de cette puissance, l'équation 2 est utilisée. La puissance avec le débit présent minimum 50 jours par an est calculée. Ces puissances sont également ajustées avec les pertes de charge des conduites, calculées à l'aide des équations 3 et 4.

	Débit (Q)	Longueur de conduite	Chute nette (Hn)	Phydr	Energie tot
	[m³/s]	[km]	[m]	[kW]	[Mwh/an]
Randogne 1	0.06	2.5	197	118	529
Randogne 2	0.06	3.6	471	280	1259
Cherm. et Mont.	0.08	2.1	326	258	2043
Montana-village	0.04	2.7	643	257	1575
Montana 1	0.03	3.8	699	209	969
Montana 2	0.02	4.4	886	175	1118

Tableau 9 : Variantes d'implantation des bassins

A première vue, en termes de puissance, les variantes les mieux classées seraient Randogne 2, Chermignon et Montana et Montana-Village. Par la suite, ces trois variantes ainsi que celle de Randogne 1 sont retenues. Les variantes de Montana 1 et 2 ne sont pas considérées dans la suite du travail, car le débit et la chute ne permettent pas de dimensionner une turbine adéquate.

L'énergie produite par chaque variante est comparée avec la production moyenne d'un champ de panneaux solaires, dont la production annuelle s'élèverait à 15 MWh/an. En partant de la consommation d'énergie moyenne donnée par l'OFEN d'un ménage de 4 personnes, qui s'élève à 3.5 MWh/an, une comparaison en équivalent habitant peut être effectuée. Cette production d'énergie comparée à la consommation par habitants est détaillée dans le Tableau 10. [32]

	Energie tot	Nombre de ménages	Nombre d'habitant	Equivalent panneaux solaire
	[Mwh/an]	[-]	[-]	[-]
Randogne 1	529	151	605	35 (255 m²)
Randogne 2	1259	360	1439	84 (622 m²)
Cherm. et Mont.	2043	584	2334	136 (951 m²)
Montana-village	1575	450	1800	105 (800 m²)
Montana 1	969	277	1108	65 (498 m²)
Montana 2	1118	319	1277	75 (575 m²)

Tableau 10 : Production d'énergie comparée à la consommation des habitants [32]

5. Analyse économique

Les variantes 1 à 4 ont été retenues pour un approfondissement financier du projet. Ces variantes sont celles de Randogne 1 et 2, Chermignon et Montana et Montana-Village, car ce sont les variantes qui permettent l'installation de turbines adaptées. Les coûts d'investissement sont basés sur des modèles et des valeurs d'expérience. Les coûts d'investissement concernant le groupe, la vanne de garde, le contrôle/commande et l'installation sont tirés du devis et du nouveau dimensionnement demandés à l'entreprise *Mhylab*. Les coûts du bassin et du dégrilleur sont estimés par l'entreprise RWB Valais SA [mail du 22.07.2019]. Le Tableau 11 représente le devis pour les 4 turbines des installations retenues.

Ref.	Type de turbine	Nombre de turbines	Débit nominal de la turbine (m3/s)	Débit minimal turbiné (m3/s)	Chute nette (à Qn)	Vitesse de rotation (tr/min)	Nombre d'injecteurs	Diamètre d'injection (m)	Vitesse spécifique (-)	Puissance de l'alternateur (kW)	Rendement du groupe (%)	Coût équipement H&EM (CHF HT)
Randogne 1	Turbine Pelton	1	0.06	0.009	197	1500	2	0.38	4.7	118	85.2	227'700
Randogne 2	Turbine Pelton	1	0.06	0.009	472	1500	2	0.598	9.6	280	85.2	342'500
Cherm. Et Mont.	Turbine Pelton	1	0.08	0.012	326	1500	2	0.493	6.1	258	85.8	306'300
Montana-village	Turbine Pelton	1	0.04	0.012	643	1500	1	0.699	10.5	257	84.5	363'600

Tableau 11 : Devis des turbines de l'entreprise Mhylab

Pour déterminer le nombre d'années d'amortissement, les valeurs usuelles sont respectivement 25 à 30 ans pour le génie civil et de 15 à 20 ans pour l'électromécanique, les études et frais administratifs. Ici, un amortissement sur 15 ans est supposé pour l'ensemble de l'installation.

5.1. Investissement

L'investissement est séparé en plusieurs catégories. Ces catégories sont présentées dans la Figure 66 à la Figure 69, avec les pourcentages d'investissement par rapport à l'investissement total de chaque variante. Il peut être remarqué que les coûts les plus importants sont situés au niveau du génie civil et de la conduite forcée, soit de 60% à 67% du coût total d'investissement.

Le Tableau 12 représente les investissements totaux pour chaque variante, en sachant qu'une marge d'incertitude de 15% est appliquée.

Par manque de connaissances et d'informations, une estimation de 800 CHF/m³ est considérée pour le prix des bassins de décantation.

		Randogne 1	Randogne 2	Chermignon et Montana	Montana-Village
Conduite forcée	CHF	1'094'000	1'575'000	920'000	1'013'000
Prise d'eau, dessableur, grille et chambre de mise en charge	CHF	334'343	334'343	618'857	295'429
Vanne(s) de maintenance	CHF	14'000	14'000	14'000	14'000
Local de turbinage	CHF	157'000	157'000	157'000	150'000
Hydro-Electromécanique Et Contrôle/Commande	CHF	227'700	343'000	306'000	364'000
Raccordement électrique au réseau	CHF	76'000	112'000	112'000	112'000
Total (hors ingénierie, honoraires et imprévus)	CHF	1'903'043	253'5343	212'7857	1'948'429

Installation de chantier (8%)	CHF	152'244	202'828	170'229	155'875
Divers + Aléas (7%)	CHF	134'000	178'000	149'000	137'000
Ingénierie et honoraires (10%)	CHF	191'000	254'000	213'000	195'000
Total général	CHF	2'380'287	317'0171	2'660'086	2'436'304
Marge d'incertitude (± 15%)	CHF	357'043	475'525	399'012	365'445

Tableau 12 : Détails des coûts d'investissements

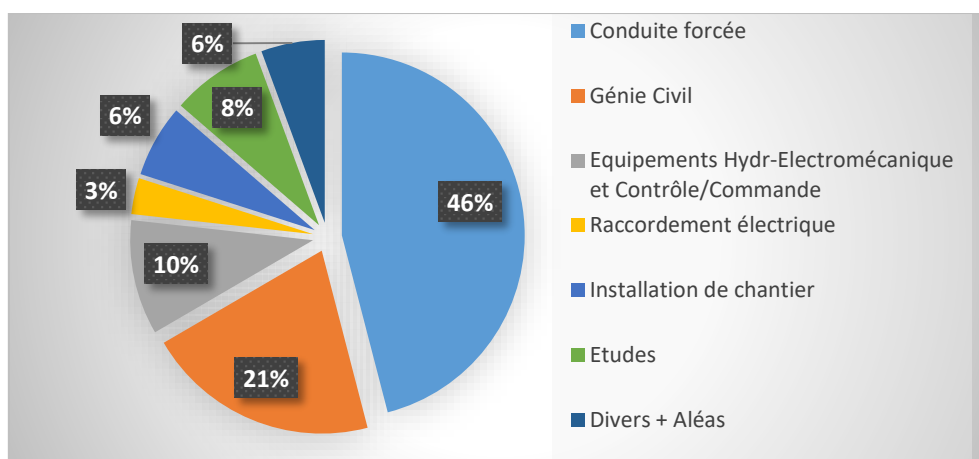


Figure 66: Répartition des coûts pour Randogne 1

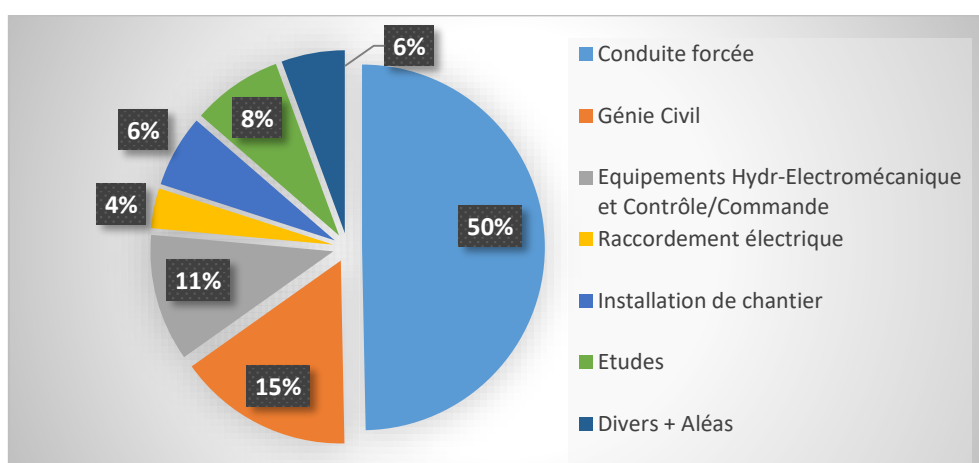


Figure 67 : Répartition des coûts pour Randogne 2

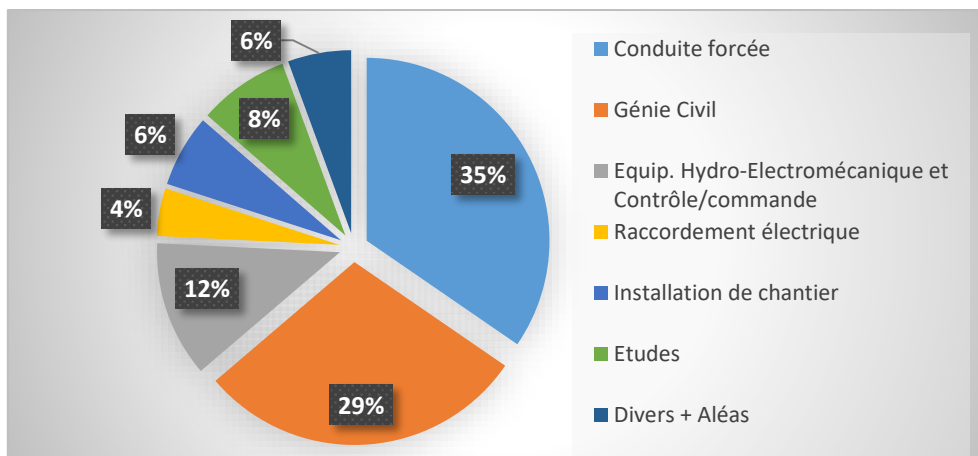


Figure 68 : Répartition des coûts pour Chermignon et Montana

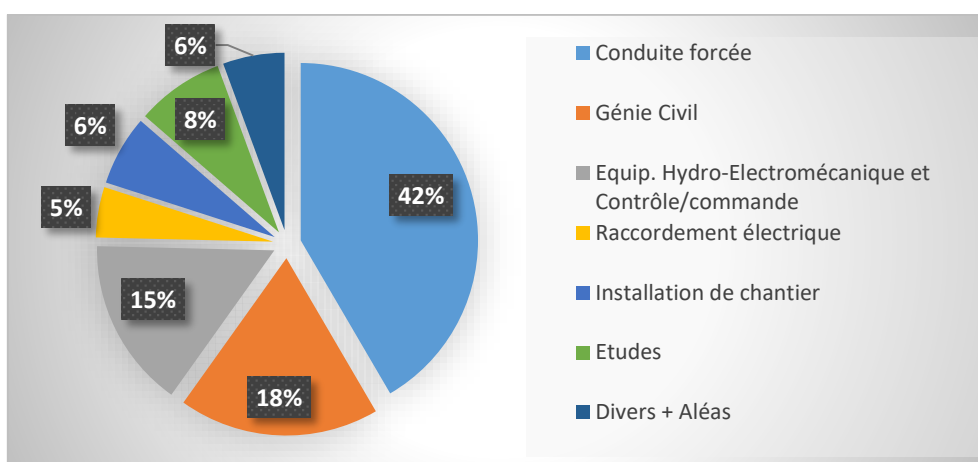


Figure 69 : Répartition des coûts pour Montana-Village

5.2. Chiffre d'affaire

Pour chaque variante retenue, une rétribution est attribuée en fonction de l'installation. Ces valeurs sont présentées dans le Tableau 13. Ces chiffres sont tirés du site de *pronovo.ch*, en fonction du système de rétribution à l'injection (SRI). Dans le cas présent, il est estimé que toute l'énergie produite est revendue. Les fiches de calcul pour la rétribution de chaque installation sont présentées en annexe 9.8.

	Energie tot [MWh/an]	Rétribution [ct/kWh]	Rétribution [CHF/an]
Randogne 1	529	30.4	160'959
Randogne 2	1259	23.8	299'575
Cherm. et Mont.	2043	20.1	410'565
Montana-village	1575	21.8	343'442

Tableau 13 : Chiffre d'affaire en fonction de la rétribution à l'injection

5.3. Rentabilité

Pour déterminer la rentabilité des installations potentielles, il est nécessaire de déterminer les frais globaux et les charges annuelles. Ensuite, suivant le chiffre d'affaire obtenu dans le chapitre précédent, un prix de revient, un taux de rentabilité interne (TRI) et un temps de retour est déterminé, en sachant que l'installation est soumise à la SRI durant 15 ans. Les deux variantes retenues sont celles de Chermignon et Montana et de Montana-Village, qui sont les deux seules variantes rentables parmi les 6 de départ. Malgré son coût d'investissement plus faible, la variante de Randogne 1 ne produit pas suffisamment d'énergie pour permettre de compenser les frais annuels. La variante de Randogne 2 est trop coûteuse également par rapport à sa production, qui est certes plus élevée que celle de Randogne 1, mais insuffisante. Le Tableau 14 présente la rentabilité de chaque variante.

		Randogne 1	Randogne 2	Cherm. Et Montana	Montana- Village
Energie tot	[MWh/an]	529	1210	1850	1554
Investissement	[kCHF]	2'023	2'578	2'336	2'071
Frais globaux annuels	[kCHF/an]	9.9	25.2	23.9	24.4
Charges annuelles	[kCHF/an]	207	274	249	225
Bénéfice annuel	[kCHF/an]	-46	22	350	118
Prix de revient	[cts/kWh]	39.08	22.84	13.46	14.30
TRI	[-]	0.01	0.07	0.24	0.14
Temps de retour	[ans]	-44	119	7	17.53

Tableau 14 : Rentabilité des différentes variantes

6. Synthèse et perspectives

Après les recherches effectuées sur le type d'installations nécessaires pour les centrales de turbinage sur eaux usées, il s'est avéré que les éléments sont similaires à ceux présents dans une PCH standard. Néanmoins, il faut prendre en compte que les installations proposées dans cette étude sont toutes placées avant traitement. Il faut donc prévoir un bassin de prétraitement ainsi qu'un dégrilleur pour éviter que les déchets obstruent les parties de l'installation de turbinage.

L'étude de potentiel effectuée dans ce rapport montre que la région de Crans-Montana possède une topographie favorable à la mise en place d'un système de turbinage des eaux usées. Parmi les 6 variantes proposées et étudiées, seules les variantes 3 et 4 sont potentiellement faisables. L'incapacité de dimensionner une turbine, les coûts élevés et le manque d'énergie produite sont les causes principales de l'élimination des autres variantes. Le fait que les conduites existantes ne peuvent pas être réutilisées implique l'implantation de nouvelles conduites en fonte ductile. Pour les 2 variantes une turbine Pelton accouplée avec une génératrice tournant à une vitesse de 1500 rpm est dimensionnée.

Parmi ces variantes, celle de Chermignon et Montana est similaires à la variante numéro 2 de l'étude pour le projet Diane. Les détails n'étant pas connus, il est impossible de comparer les coûts. Il peut néanmoins être remarqué que les chutes sont similaires, mais l'énergie est presque deux fois moins importante que celle calculée dans cette présente étude. Le débit estimé durant l'étude Diane est de $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que celui estimé dans cette étude est de $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui explique cette différence d'énergie.

Les coûts d'investissement des deux variantes rentables sont de 2.6 mio CHF pour celle de Chermignon et Montana et de 2.4 mio CHF pour celle de Montana-Village. Ces deux variantes ont toutes deux un prix de revient d'environ 12 ct/kWh pour une rétribution de 20.1 ct/kWh pour Chermignon et Montana et de 21.8 ct/kWh pour Montana-Village, ce qui représente un bénéfice annuel de respectivement 350'000 CHF et 141'000 CHF.

Les coûts d'exploitation n'étant pas pris en compte dans les calculs, il serait intéressant de s'y attarder, ainsi que sur les impacts environnementaux sur le tracé des conduites. Plus de précisions au niveau des coûts de construction et de mise en place des installations permettraient de se rapprocher du coût réel de l'installation. Un autre paramètre à prendre en compte est celui du plan d'affectation des zones. La variante de Montana-Village traverse des zones de pratique d'activités sportives, il faudrait donc vérifier la possibilité de construire une conduite sur ce terrain.

7. Bibliographie

- [1] AES, «Strom,» [En ligne]. Available: <https://www.strom.ch/fr/connaissances-sur-lenergie/production-et-negoce/produktion-strommix>. [Accès le 09 07 2019].
- [2] Canton du Valais, «vs.ch,» [En ligne]. Available: <https://www.vs.ch/web/sefh/concessions-/autorisation-d-utilisation>. [Accès le 06 08 2019].
- [3] C. BOUSQUET, I. SAMORA, P. MANSO, L. E. Anton SCHLEISS, L. ROSSI, P. HELLER et e-dric.ch, «Turbinage des eaux usées, quel potentiel pour la Suisse ?,» 2015. [En ligne]. Available: https://infoscience.epfl.ch/record/212915/files/2015-1033%20Bousquet_Samora_Manso_Schleiss_Rossi_Heller_Turbinage%20des%20eaux%20us%C3%A9es.pdf. [Accès le 13 05 2019].
- [4] VINK, «Conduite de pression en matières plastiques pour le transport de liquides».
- [5] H. M. et S. J-P, « Guide pour l'implantation de petites centrales hydrauliques dans les communes valaisannes, blueark,» 2009. [En ligne]. Available: <https://www.vs.ch/documents/87616/232874/Guide+pour+l%E2%80%99implantation+de+petites+centrales+hydrauliques+dans+les+communes+valaisannes/46727200-94de-4ecd-9512-50915eae0e11>. [Accès le 13 05 2019].
- [6] ESHA, mhyllab, «Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants,» *Sixth Framework Programme*, 2010.
- [7] C. BOUSQUET, I. SAMORA, P. MANSO, A. SCHLEISS, L. ROSSI et H. Philippe, «Renewable Energy,» *ELSEVIER* 113, pp. 64-73, 2017.
- [8] Häny SA - Pompes, turbines et systèmes, «Haeny,» 07 2018. [En ligne]. Available: https://www.haeny.com/fileadmin/user_upload/Referenzen/Turbinen/referenz_PT_hz_all.pdf. [Accès le 12 06 2019].
- [9] E. A. Müller, I. Eliane Graf, O. M. Ruedi Moser et H. B. AG, «Innovative Energieprojekte auf ARA,» *Aqua & Gas N° 7/8*, pp. 50-56, 2013.
- [10] SuisseEnergie, «Petites centrales hydrauliques,» *Newsletter*, pp. 1-7, 2014.
- [11] V. Denis, «Petite hydroélectricité: de la théorie à la pratique, TECHNOLOGIE PETITE HYDRAULIQUE,» 2010. [En ligne]. Available: https://www.electrosuisse.ch/uploads/media/article_145656.pdf. [Accès le 14 05 2019].
- [12] C. R., V. C.-A., R. J. et B. Ingénieurs, «L'Eau usée génératrice d'électricité, Petites centrales hydrauliques,» *DIANE*, vol. 73, n° 110, pp. 1-84, 1995.
- [13] G. DELLINGER, A. TERFOUS, A. GHENAIM et P.-A. GARAMBOIS, «Optimisation d'une vis d'Archimède pour la production d'énergie dans les microcentrales hydroélectriques, Rencontres Universitaires de Génie Civil,» 2015. [En ligne]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01167675/document>.
- [14] Ltd, SPAANS BABCOCK, «Hydro Power using Waste Water at Esholt WwTW».

- [15] Mhyllab; the ark, «DES MILLIONS DE KWH PRODUITS GRÂCE AUX EAUX USÉES DE VERBIER,» 2013. [En ligne]. Available: <https://blog.theark.ch/fr/detail/des-millions-de-kwh-produits-grace-aux-eaux-usees-de-verbier-7268>. [Accès le 20 05 2019].
- [16] C. POWER, A. MCNABOLA et P. COUGHLAN, «Sustainable Energy Technologies and Assessments,» *Elsevier*, pp. 166-177, 2 juin 2014.
- [17] J. GALLAGHER, I. HARRIS, A. PACKWOOD, A. MCNABOLA et A.P.WILLIAMS, «A strategic assessment of micro-hydropower in the UK and Irish water industry: Identifying technical and economic constraints,» *Elsevier*, pp. 808-815, 20 avril 2015.
- [18] «vsgis.ch,» [En ligne]. Available: <https://map.vsgis.ch/cransmontana?lang=fr>. [Accès le 07 08 2019].
- [19] D. J.-L. Boillat et D. M. Pfister, «Le dimensionnement hydraulique,» Lausanne, 2013.
- [20] M. Dubas et Y. Pigueron, «Guide pour l'étude sommaire de».
- [21] K.-H. K. W. Beits, *Dubbel : Handbook of mechanical engineering*, Londres: Springer-Verlag London Ltd., 1994.
- [22] C. münch-Alligné, *Cours Hydraulique HES-SO Valais//Wallis*, Sion, 2012.
- [23] D. C. Münch-Alligné, *Cours sur les machines hydrauliques*, 2019.
- [24] G. Blommaert, «ResearchGate,» 2000. [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Principaux-types-de-turbines-hydrauliques-et-domaines-dapplication-92_fig1_37412964. [Accès le 10 06 2019].
- [25] J.-M. Chapallaz and all, *Manual on Pumps used as Turbines*, 1992.
- [26] J.-M. Chapallaz, *Petite centrales hydrauliques - 2ème Partie*, 2007.
- [27] T. Bühler, «infra-watt.ch,» 06 2007. [En ligne]. Available: http://infra-watt.ch/sites/default/files/2007_06_04_gwa_Turbinage%20dans%20les%20r%C3%A9seaux%20d'eau.pdf. [Accès le 27 05 2019].
- [28] Huber Technology, «Huber Technology Waste Water Solutions,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.huber.fr/fr/produits/degrillage/degrilleurs-verticaux-tamis-a-champs-filtrant/huber-degrilleur-droit-a-raclage-continu-rakemaxr-hf-high-flow.html>. [Accès le 25 07 2019].
- [29] GF Piping Systems, «GF Piping Systems,» [En ligne]. Available: https://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/100073/CH/fr/109392/109447/109448/109449/P104645/product.html. [Accès le 07 08 2019].
- [30] Voith, «voith,» [En ligne]. Available: <http://www.voith.com/ca-fr/produits-et-services/hydroelectricite/vannes-spheriques-673.html>. [Accès le 08 08 2019].
- [31] Office fédéral des questions conjoncturelles, *Le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une mini turbine*, 1995.
- [32] energie-environnement, «energie-environnement,» [En ligne]. Available: <https://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/installations/panneaux-solaires-photovoltaïques>. [Accès le 14 08 2019].
- [33] I. Samora, «Séminaire AquaPro,» chez *Turbinage des eaux usées, potentiel et exemples*, 2017.

[34] P.-A. Gard, *Visite de la centrale de Profray*, 2019.

[35] Confédération suisse, «Office Fédéral de l'énergie, Force hydraulique,» 2018. [En ligne]. Available: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/energies-renouvelables/force-hydraulique.html>. [Accès le 13 0.5 2019].

Table des annexes

9.	Annexes	2
9.1.	Caractéristiques des installations : Résumé	2
9.1.1	Profray	2
9.1.2	Leysin	2
9.1.3	Nyon	3
9.1.4	As Samra	3
9.1.5	Esholt	3
9.2.	Débits des communes selon les années.....	4
	2008.....	4
	2009.....	4
	2010.....	4
	2011.....	5
	2012.....	5
	2013.....	5
	2014.....	6
	2015.....	6
	2016.....	6
	2017	7
	2018.....	7
9.3.	Débits classés des communes	8
	Chermignon	8
	Montana	8
	Randogne.....	9
9.4.	Réseau d'eaux usées de Crans-Montana avec les conduites principales.....	10
9.5.	Schéma synoptique avec emplacement des bassins de décantation	11
9.6.	Dimensionnement des machines pour différentes vitesses de rotation	12
9.7.	Légende du plan d'affectation des zones.....	13
9.8.	Valeurs de Pronovo	14
	Rétribution-Randogne 1	14
	Rétribution Randogne 2	15
	Rétribution Chermignon et Montana.....	16
	Rétribution Montana-Village.....	17
9.9.	Schéma unifilaire du réseau 16 kV et recensement des transformateurs.....	18

9. Annexes

9.1. Caractéristiques des installations : Résumé

9.1.1 Profray

Caractéristique du site	
Hauteur de chute	449 m
Débits	25 à 100 l/s
Bassin de mise en charge	
Grille amont	6 mm
volume	400 m ³
Conduite	
Matériaux	Fonte
Diamètre	DN300
Longueur	Env. 3.5 km
Date de construction	1993
Groupe hydro-électromécanique	
Vanne de garde	Sphérique (prévue pour « eau chargée »)
Turbine	Pelton
Axe	Vertical (conception et mise en place + facile)
Constructeur	Gasa
Nbr d'injecteur	2 jets
Puissance	350 kW
Production	851 MWh/an
Bypass	
Type de vanne	Sphérique V-porte (prévue pour le réglage)

9.1.2 Leysin

Caractéristique du site	
Hauteur de chute	545 m
Débits	72 l/s
Bassin de mise en charge	
volume	25 m ³
Conduite	
Matériaux	Acier
Diamètre	DN200
Longueur	Env. 1.3 km
Date de construction	1989
Groupe hydro-électromécanique	
Vanne de garde	Inconnu
Turbine	Pelton
Axe	Vertical
Constructeur	Gasa
Nbr d'injecteur	Inconnu
Puissance	430 kW
Production	1.7 GWh/an

9.1.3 Nyon

Caractéristique du site	
Hauteur de chute	94.25 m
Débits	293 l/s
Bassin de mise en charge	
volume	900 m ³
Conduite	
Matériaux	Fonte
Diamètre	DN600
Longueur	Env. 3.5 km
Date de construction	1993
Groupe hydro-électromécanique	
Vanne de garde	Inconnu
Turbine	Pompe inversée
Constructeur	Bonnard & Gardel
Puissance	220 kW
Production	510 MWh/an

9.1.4 As Samra

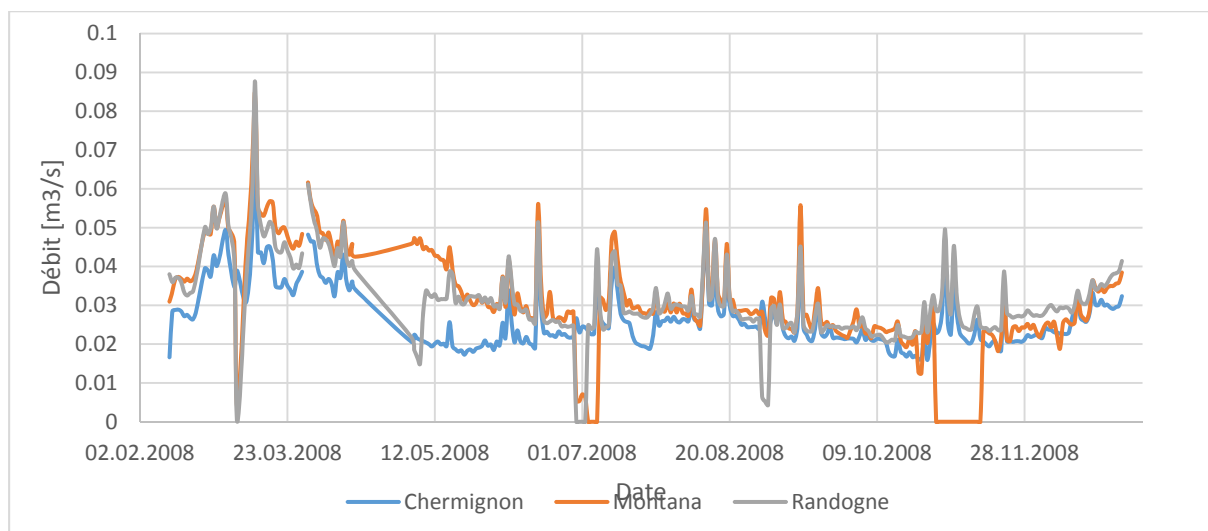
Caractéristique du site	
Hauteur de chute	104 m / 42.1 m
Débits	2x 1250 l/s / 2x 2000l/s
Conduite	
Matériaux	Fonte
Diamètre	DN1500
Longueur	33 km
Date de construction	2007
Groupe hydro-électromécanique	
Vanne de garde	Sphérique
Turbine	2 Pelton / 2 Francis
Axe	Vertical
Constructeur	Andritz
Nbr d'injecteur	5 jets
Puissance	2x 830 kW / 2x 807 kW
Production	12.5 GWh/an / 8.6 GWh/an

9.1.5 Esholt

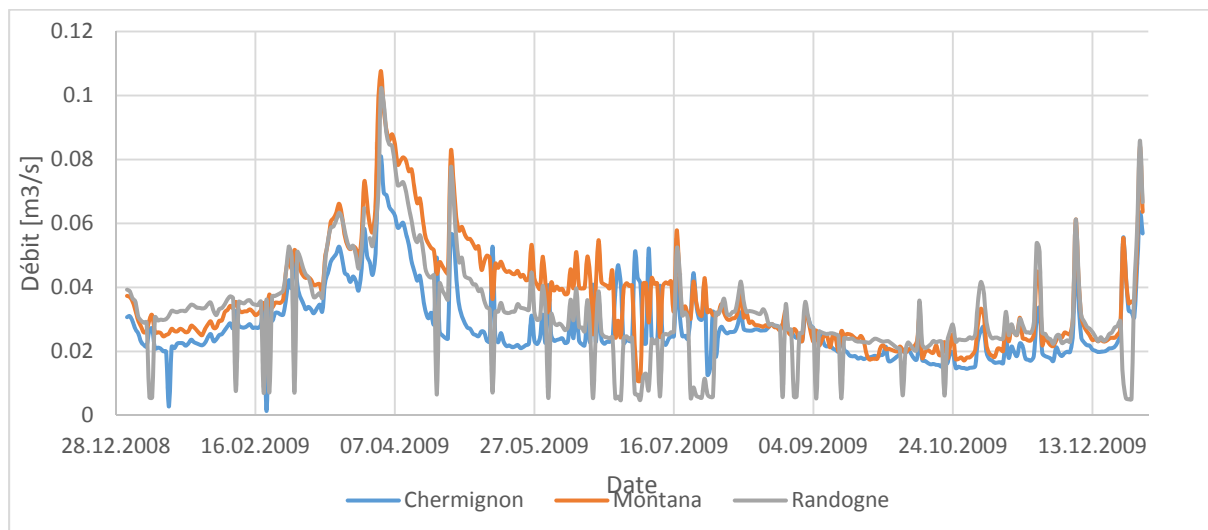
Caractéristique du site	
Hauteur de chute	8.2m
Débits	2678 l/s
Conduite	
Diamètre	DN2600
Longueur	14m chacune
Date de construction	2012
Groupe hydro-électromécanique	
Turbine	2 Vis d'Archimède
Constructeur	Spaans Babcock
Puissance	2x 90 kW
Production	1.6 GWh/an

9.2. Débits des communes selon les années

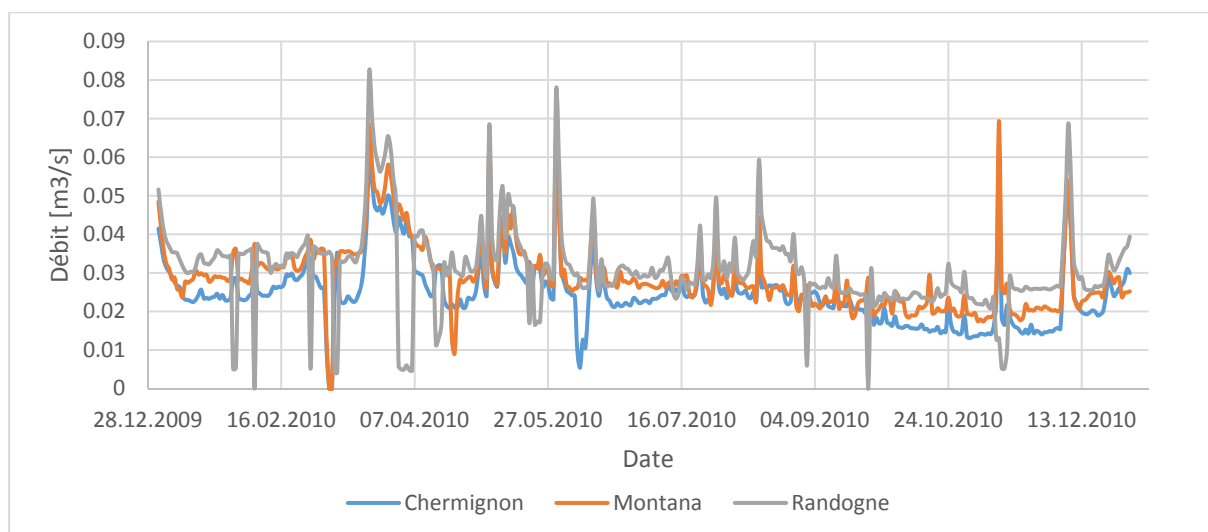
2008



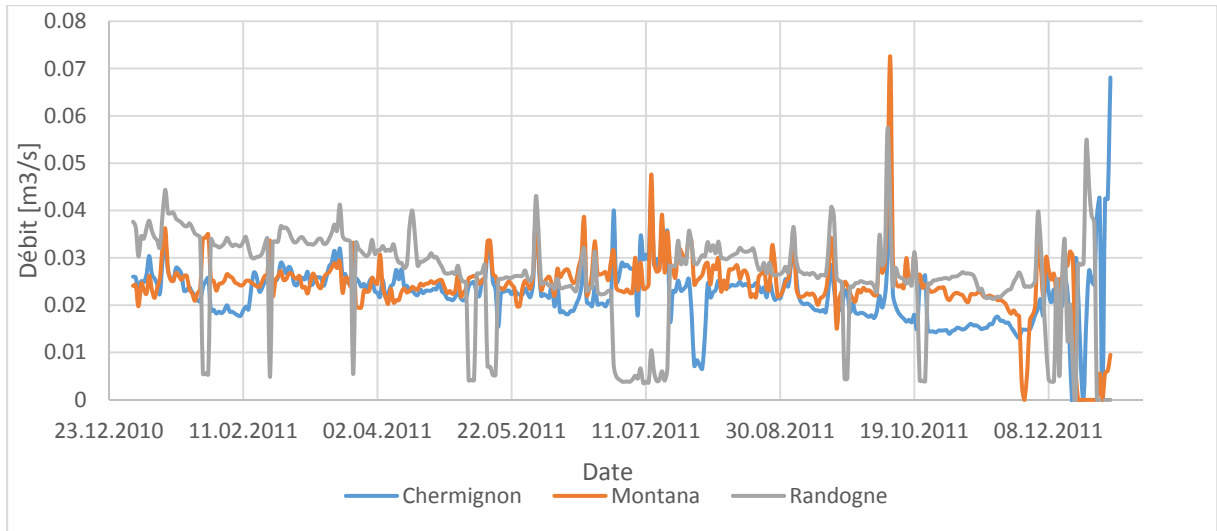
2009



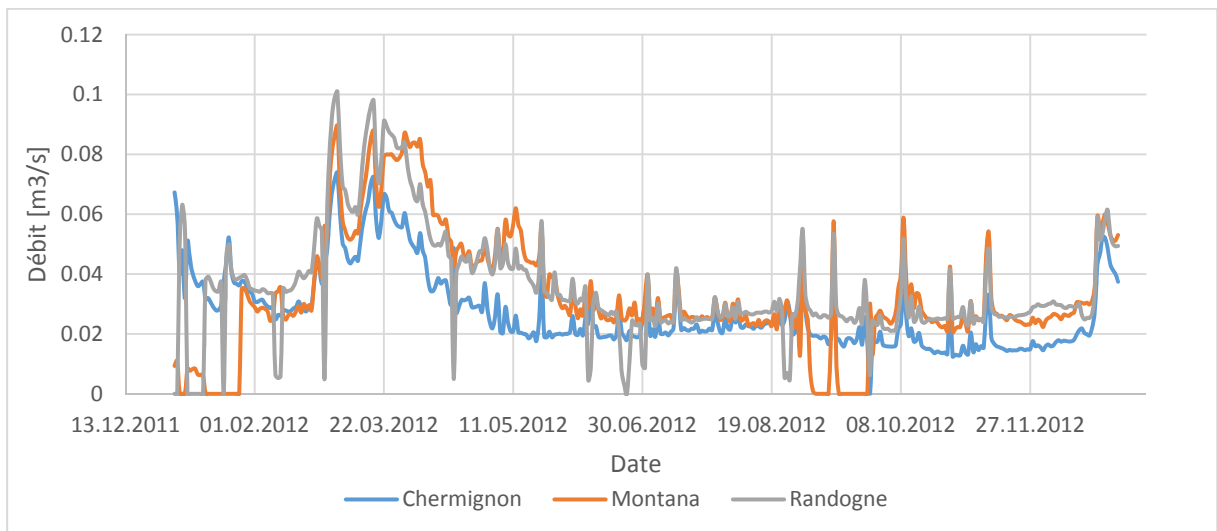
2010



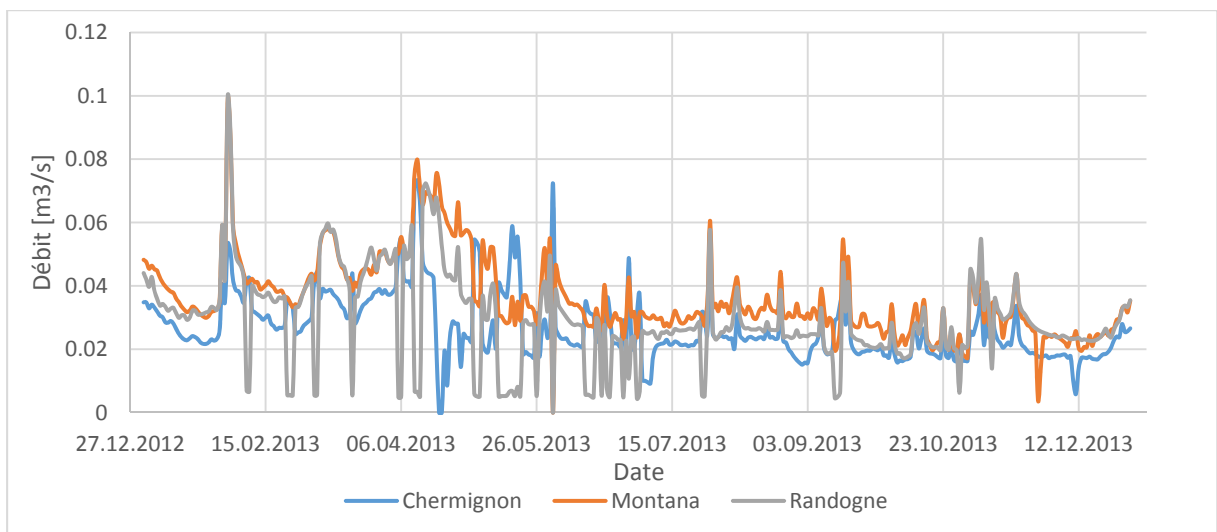
2011



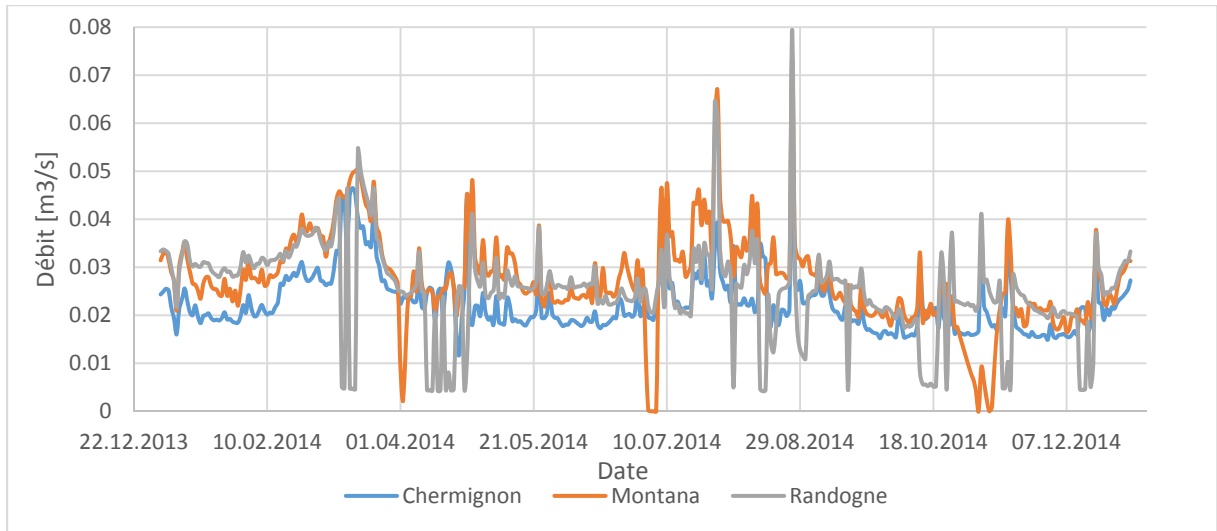
2012



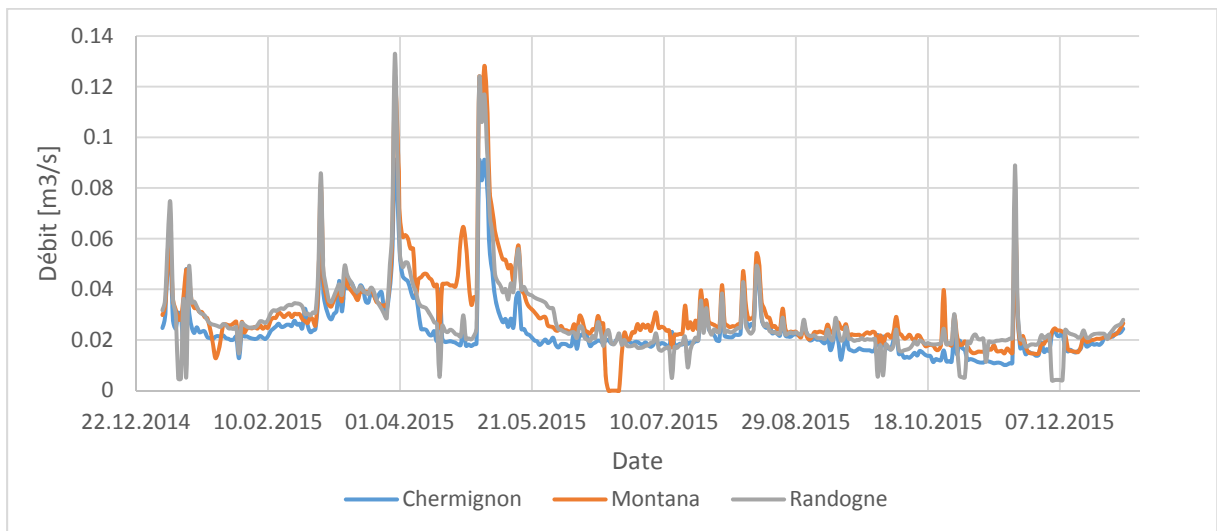
2013



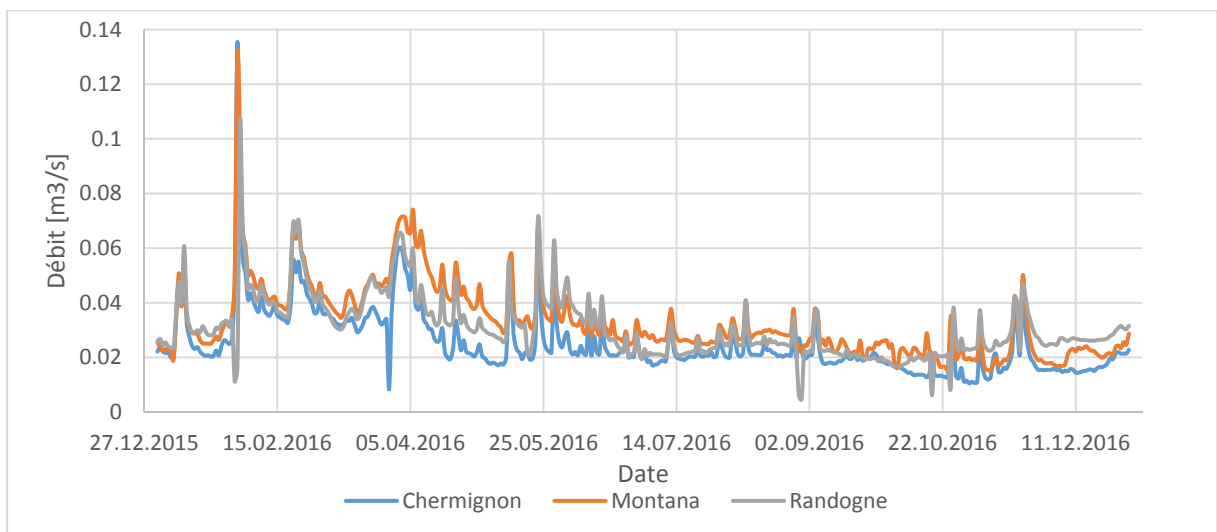
2014



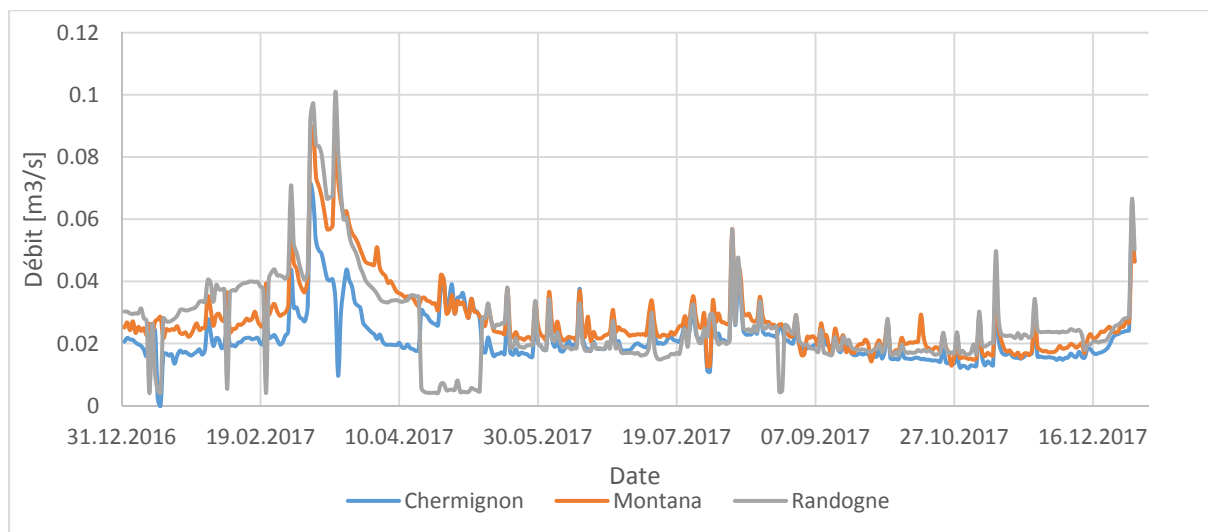
2015



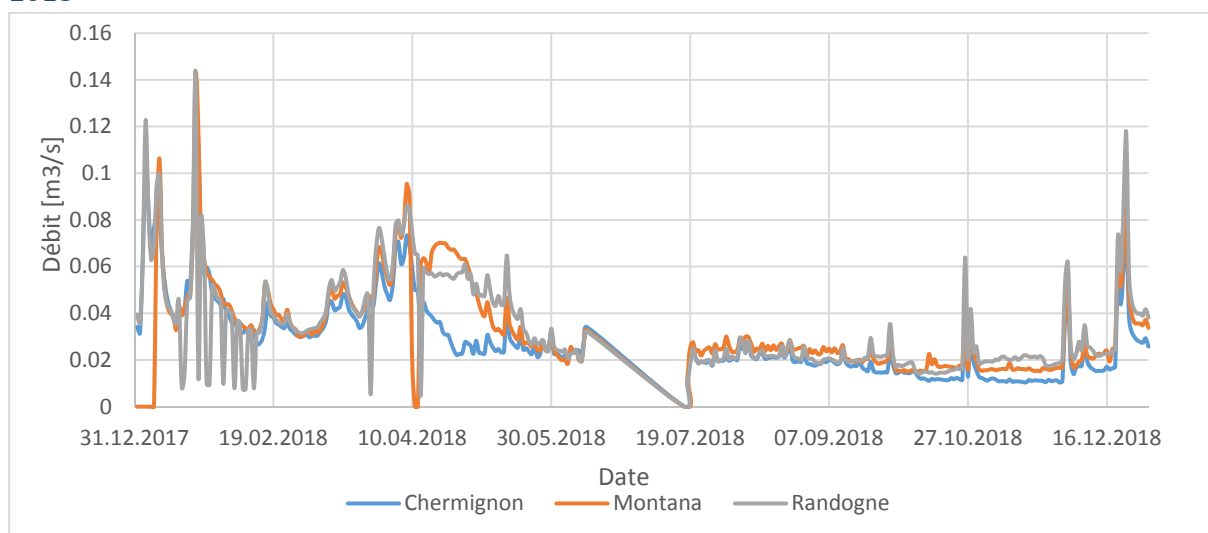
2016

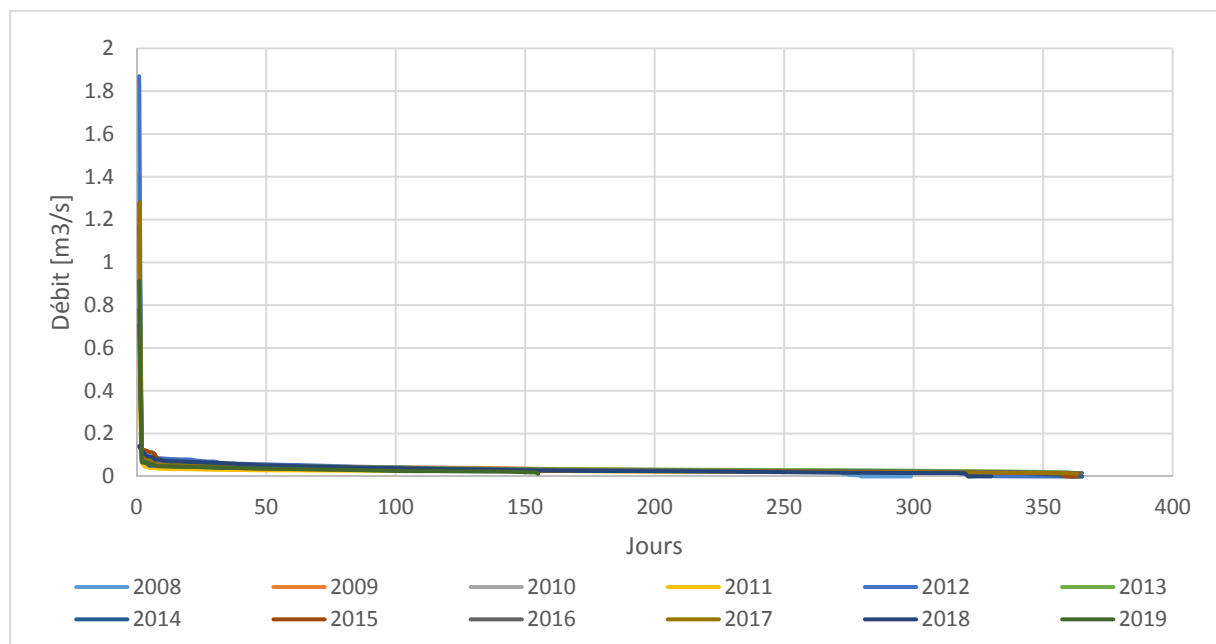


2017

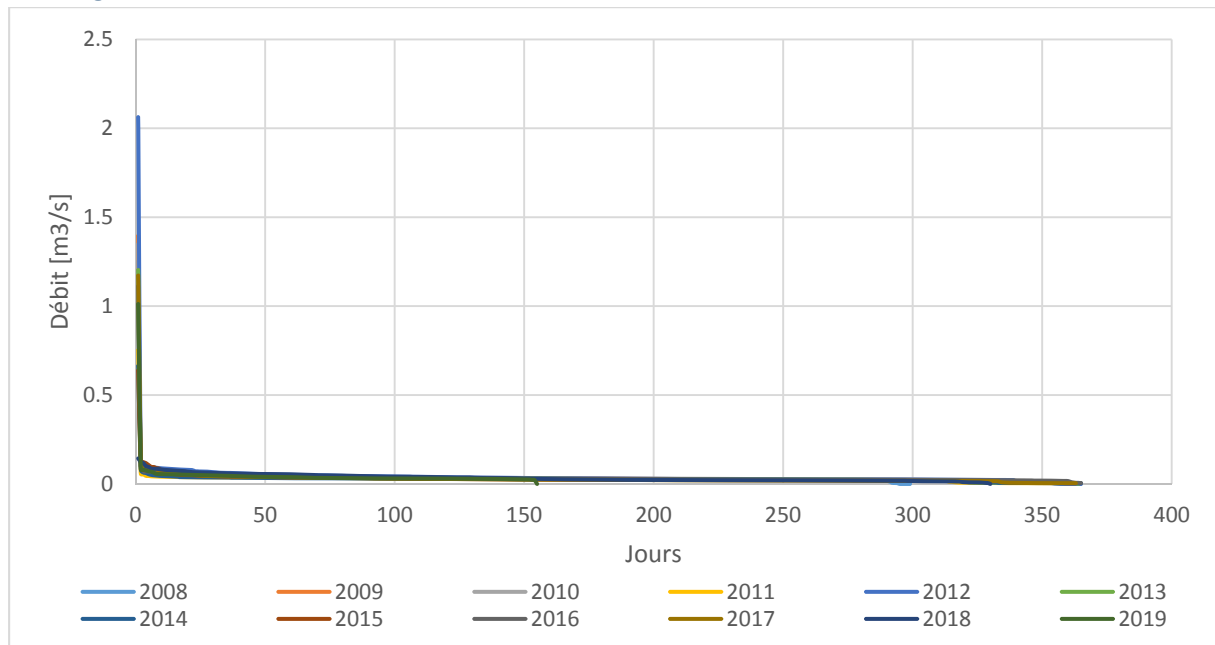


2018

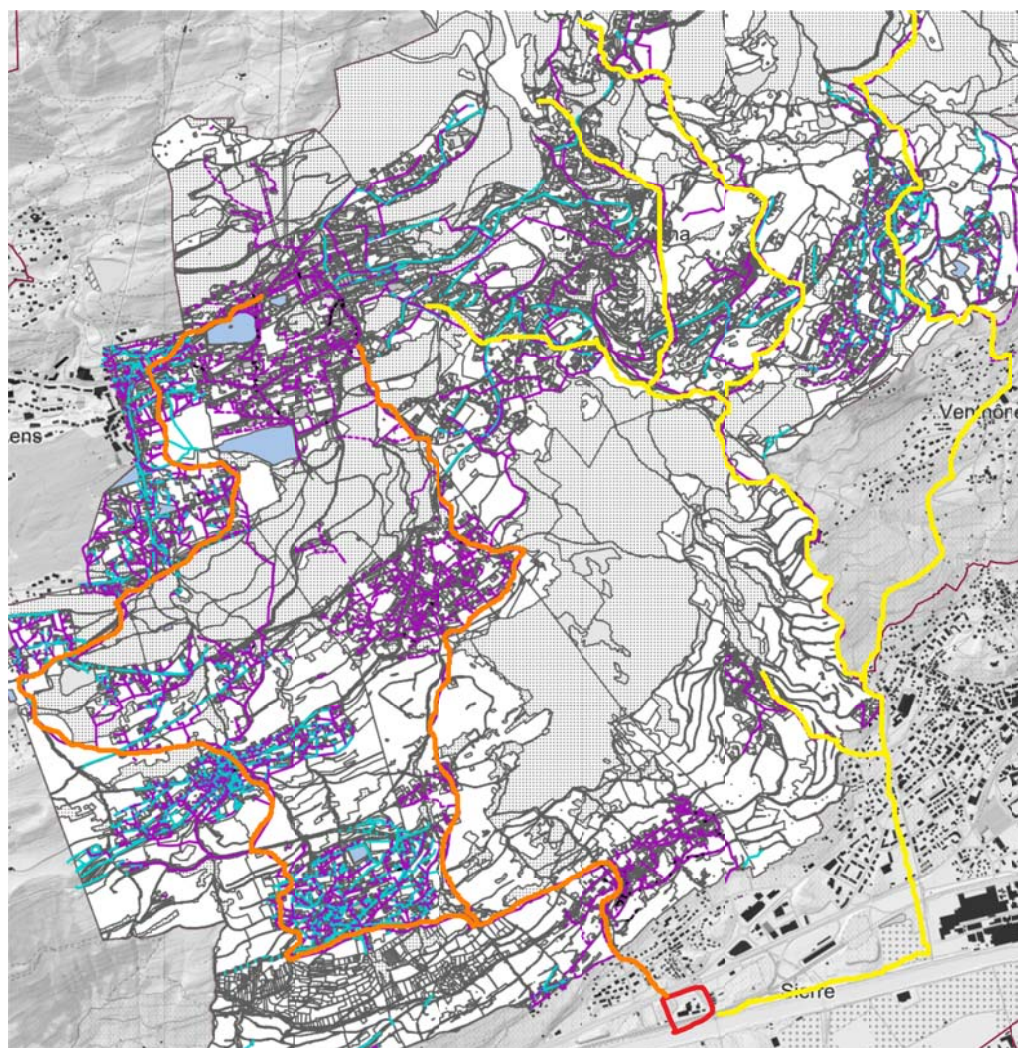




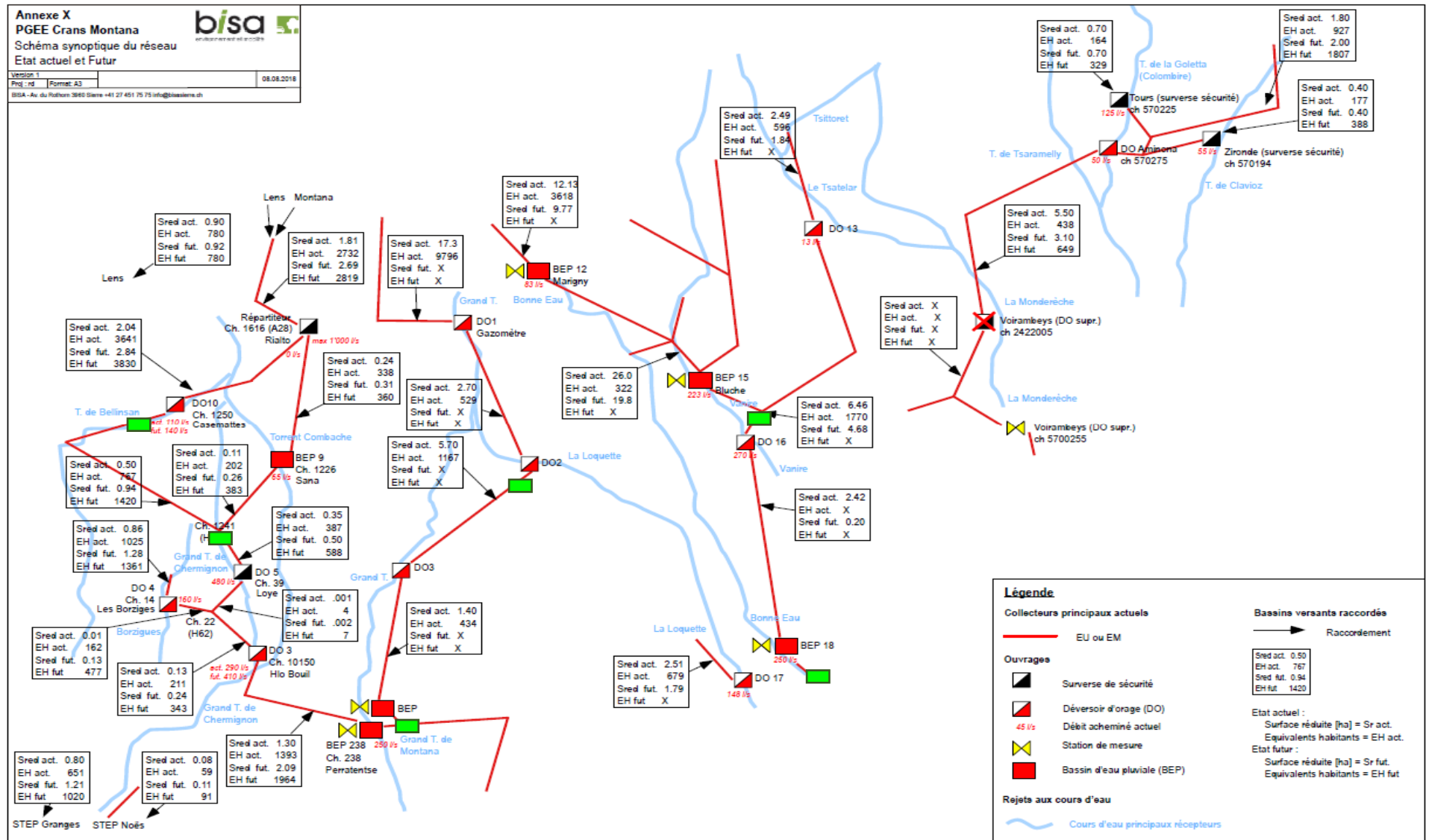
Randogne



9.4. Réseau d'eaux usées de Crans-Montana avec les conduites principales



9.5. Schéma synoptique avec emplacement des bassins de décantation



9.6. Dimensionnement des machines pour différentes vitesses de rotation










	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.38	0.06	62.07	27.93	250	12	2	1927	0.004	1.138	0.012	0.007	61
Randogne 2	469.27	0.06	95.95	43.18	250	12	2	4604	0.002	1.759	0.010	0.004	103
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	250	12	2	3193	0.003	1.465	0.013	0.006	73
Montana-village	643.14	0.04	112.33	50.55	250	12	2	6309	0.001	2.060	0.008	0.002	152
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	250	12	1	6854	0.001	2.147	0.009	0.002	134
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	250	12	1	8690	0.001	2.417	0.007	0.001	189
	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.38	0.06	62.07	27.93	500	6	2	1927	0.007	0.569	0.012	0.015	38
Randogne 2	469.27	0.06	95.95	43.18	500	6	2	4604	0.004	0.880	0.010	0.008	59
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	500	6	2	3193	0.006	0.733	0.013	0.012	44
Montana-village	643.15	0.04	112.33	50.55	500	6	2	6309	0.002	1.030	0.008	0.005	83
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	500	6	1	6854	0.002	1.073	0.009	0.004	74
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	500	6	1	8690	0.001	1.209	0.007	0.003	102
	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.38	0.06	62.07	27.93	1000	3	2	1927	0.014	0.285	0.012	0.030	26
Randogne 2	469.27	0.06	95.95	43.18	1000	3	2	4604	0.007	0.440	0.010	0.015	37
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	1000	3	2	3193	0.011	0.366	0.013	0.023	30
Montana-village	643.15	0.04	112.33	50.55	1000	3	2	6309	0.005	0.515	0.008	0.010	49
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	1000	3	1	6854	0.004	0.537	0.009	0.008	45
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	1000	3	1	8690	0.003	0.604	0.007	0.006	58
	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.38	0.06	62.07	27.93	1500	2	2	1927	0.021	0.190	0.012	0.044	23
Randogne 2	469.27	0.06	95.95	43.18	1500	2	2	4604	0.011	0.293	0.010	0.023	30
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	1500	2	1	3193	0.017	0.244	0.018	0.035	22
Montana-village	643.15	0.04	112.33	50.55	1500	2	2	6309	0.007	0.343	0.008	0.015	38
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	1500	2	1	6854	0.006	0.358	0.009	0.012	35
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	1500	2	1	8690	0.004	0.403	0.007	0.008	44
	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.38	0.06	62.07	27.93	750	4	1	1927	0.011	0.379	0.018	0.022	26
Randogne 2	469.27	0.06	95.95	43.18	750	4	2	4604	0.005	0.586	0.010	0.012	44
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	750	4	1	3193.4	0.008	0.488	0.018	0.018	29
Montana-village	643.15	0.04	112.33	50.55	750	4	2	6309	0.004	0.687	0.008	0.007	61
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	750	4	2	6854	0.003	0.716	0.006	0.006	71
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	750	4	2	8690	0.002	0.806	0.005	0.004	97
	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.382	0.060	62.073	27.933	600	5	2.000	1926.504	0.008	0.474	0.012	0.018	34.116
Randogne 2	469.272	0.060	95.954	43.179	600	5	1.000	4603.555	0.004	0.733	0.014	0.009	40.979
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	600	5	1	3193	0.007	0.611	0.018	0.014	32.101
Montana-village	643.15	0.04	112.33	50.55	600	5	2	6309	0.003	0.858	0.008	0.006	72
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	600	5	1	6854	0.002	0.894	0.009	0.005	65
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	600	5	1	8690	0.002	1.007	0.007	0.003	87
	Hn	Débit dim	Co	U	n'	Zp	Zo	E	n_QE	R1	R2	v	nbr d'augets
	[m]	[m3/s]	[m/s]	[m/s]	[rpm]	[-]	[-]	[J/kg]		[m]	[m]	[-]	[-]
Randogne 1	196.38	0.06	62.07	27.93	3000	1	2	1927	0.042	0.089	0.013	0.089	19
Randogne 2	469.27	0.06	95.95	43.18	3000	1	2	4604	0.022	0.137	0.010	0.046	22
Cherm. et Mont.	325.53	0.08	79.92	35.96	3000	1	2	3193	0.033	0.114	0.013	0.070	19
Montana-village	643.15	0.04	112.33	50.55	3000	1	2	6309	0.014	0.161	0.008	0.030	26
Montana 1	698.71	0.03	117.08	52.69	3000	1	1	6854	0.011	0.179	0.009	0.024	25
Montana 2	885.79	0.02	131.83	59.32	3000	1	1	8690	0.008	0.201	0.007	0.017	29

9.7. Légende du plan d'affectation des zones






Zones à bâtir

-  Zone 1A d'habitations familiales / densité 0.30
-  Zone 1B de l'ordre dispersé / densité 0.30
-  Zone 1C de l'ordre dispersé / densité 0.40
-  Zone 1D de l'ordre dispersé / densité 0.40
-  Zone 2A de l'ordre dispersé / densité 0.40
-  Zone 2B de l'ordre dispersé / densité 0.40 (gabarit différent)
-  Zone 2D de l'ordre dispersé / densité 0.40
-  Zone 2E de l'ordre dispersé / densité 0.40
-  Zone 3 de l'ordre dispersé / densité 0.50
-  Zone 3B de l'ordre dispersé / densité 0.50
-  Zone 4 de l'ordre dispersé / densité 0.60
-  Zone 5A de l'ordre dispersé à toit plat / densité 0.80
-  Zone 5B de l'ordre dispersé à toit plat sans attique / densité 0.80
-  Zone 5C de l'ordre dispersé à toit à 2 pans / densité 0.80
-  Zone 6A de l'ordre contigu avec attique
-  Zone 6B de l'ordre contigu sans attique
-  Zone 7 artisanale et industrielle
-  Zone 7A artisanale
-  Zone mixte (Zone 1C, habitat / Zone 7A, artisanale)
-  Zone 8 mayens
-  Zone 9 de convalescence
-  Zone 12 de constructions et d'installations publiques
-  Zone 12A d'équipement public et touristique / densité 0.80
-  Zone 16 camping
-  Zone 18 des villages et leur extension
-  Zone 18A d'habitations collectives et commerces
-  Zone du village de Mollens
-  Zone résidentielle R2
-  Zone résidentielle R3
-  Zone mixte à plan de quartier obligatoire
-  Zone du village de Cordona
-  Zone du centre d'Aminona à aménager
-  Zone de chalets d'Aminona
-  Zone à aménager

Zones autres

-  Zone 10 agricole
-  Zone 10A agricole protégée
-  Zone agricole et culturelle
-  Zone 11 destinée à la pratique des activités sportives et récréatives
-  Zone 13B de protection de la nature
-  Zone 15 d'affectation différée
-  Zone 19 d'extraction et de dépôt de matériaux
-  Aire forestière
-  Zones des eaux et des rives

Zones spéciales

-  Zone 13A de protection du paysage
-  Zone 13B de protection de la nature
-  Haies vives et bosquets
-  Zone d'activités sportives du domaine skiable
-  Zone de refuge pour la faune

9.8. Valeurs de Pronovo

Rétribution-Randogne 1

Le site web a été optimisé pour les navigateurs Internet Explorer et Firefox.

Les calculs ne sont fournis qu'à titre informatif et ne sont pas contraignants.
Le tarificateur ne tient pas compte des tarifs mixtes pour les agrandissements.

Les champs assortis d'un astérisque (*) sont obligatoires.

Données de l'installation

Hauteur de chute brute *

[m]

la part de l'aménagement des eaux (y compris les conduites sous pression) de
l'ensemble des coûts d'investissement du projet*

[%]

Centrale de dotation *

- ☐ Oui
☒ Non

Installation d'exploitation accessoire*

- ☒ Oui
☐ Non

Date de l'annonce

[JJ.MM.AAAA]

Date de mise en service *

[JJ.MM.AAAA]

Production d'électricité prévue par année civile*

[kWh/Jahr]

Puissance mécanique moyenne brute projetée *

[kW]

Résultat du calcul des tarifs en fonction de vos indications

Tarif probable (TVA comprise)*

30.4 [Rp/kWh]

Rétribution Randogne 2

Le site web a été optimisé pour les navigateurs Internet Explorer et Firefox.

Les calculs ne sont fournis qu'à titre informatif et ne sont pas contraignants.
Le tarificateur ne tient pas compte des tarifs mixtes pour les agrandissements.

Les champs assortis d'un astérisque (*) sont obligatoires.

Données de l'installation

Hauteur de chute brute *

[m]

la part de l'aménagement des eaux (y compris les conduites sous pression) de l'ensemble des coûts d'investissement du projet*

[%]

Centrale de dotation *

☐ Oui

☒ Non

Installation d'exploitation accessoire*

☒ Oui

☐ Non

Date de l'annonce

[JJ.MM.AAAA]

Date de mise en service *

[JJ.MM.AAAA]

Production d'électricité prévue par année civile*

[kWh/Jahr]

Puissance mécanique moyenne brute projetée *

[kW]

Résultat du calcul des tarifs en fonction de vos indications

Tarif probable (TVA comprise)*

23.8 [Rp/kWh]

Le site web a été optimisé pour les navigateurs Internet Explorer et Firefox.

Les calculs ne sont fournis qu'à titre informatif et ne sont pas contraignants.
Le tarificateur ne tient pas compte des tarifs mixtes pour les agrandissements.

Les champs assortis d'un astérisque (*) sont obligatoires.

Données de l'installation

Hauteur de chute brute *

[m]

la part de l'aménagement des eaux (y compris les conduites sous pression) de
l'ensemble des coûts d'investissement du projet*

[%]

Centrale de dotation *

- ☐ Oui
☒ Non

Installation d'exploitation accessoire*

- ☒ Oui
☐ Non

Date de l'annonce

[JJ.MM.AAAA]

Date de mise en service *

[JJ.MM.AAAA]

Production d'électricité prévue par année civile*

[kWh/Jahr]

Puissance mécanique moyenne brute projetée *

[kW]

Résultat du calcul des tarifs en fonction de vos indications

Tarif probable (TVA comprise)*

20.1 [Rp/kWh]

Rétribution Montana-Village

Le site web a été optimisé pour les navigateurs Internet Explorer et Firefox.

Les calculs ne sont fournis qu'à titre informatif et ne sont pas contraignants.
Le tarificateur ne tient pas compte des tarifs mixtes pour les agrandissements.

Les champs assortis d'un astérisque (*) sont obligatoires.

Données de l'installation

Hauteur de chute brute *

[m]

la part de l'aménagement des eaux (y compris les conduites sous pression) de
l'ensemble des coûts d'investissement du projet*

[%]

Centrale de dotation *

- ☐ Oui
☒ Non

Installation d'exploitation accessoire*

- ☒ Oui
☐ Non

Date de l'annonce

[JJ.MM.AAAA]

Date de mise en service *

[JJ.MM.AAAA]

Production d'électricité prévue par année civile*

[kWh/Jahr]

Puissance mécanique moyenne brute projetée *

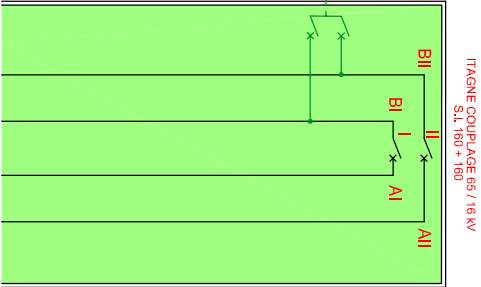
[kW]

Résultat du calcul des tarifs en fonction de vos indications

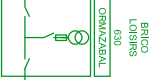
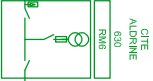
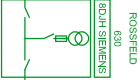
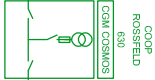
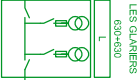
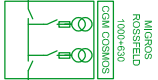
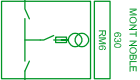
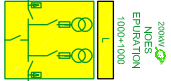
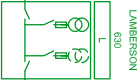
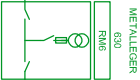
Tarif probable (TVA comprise)*

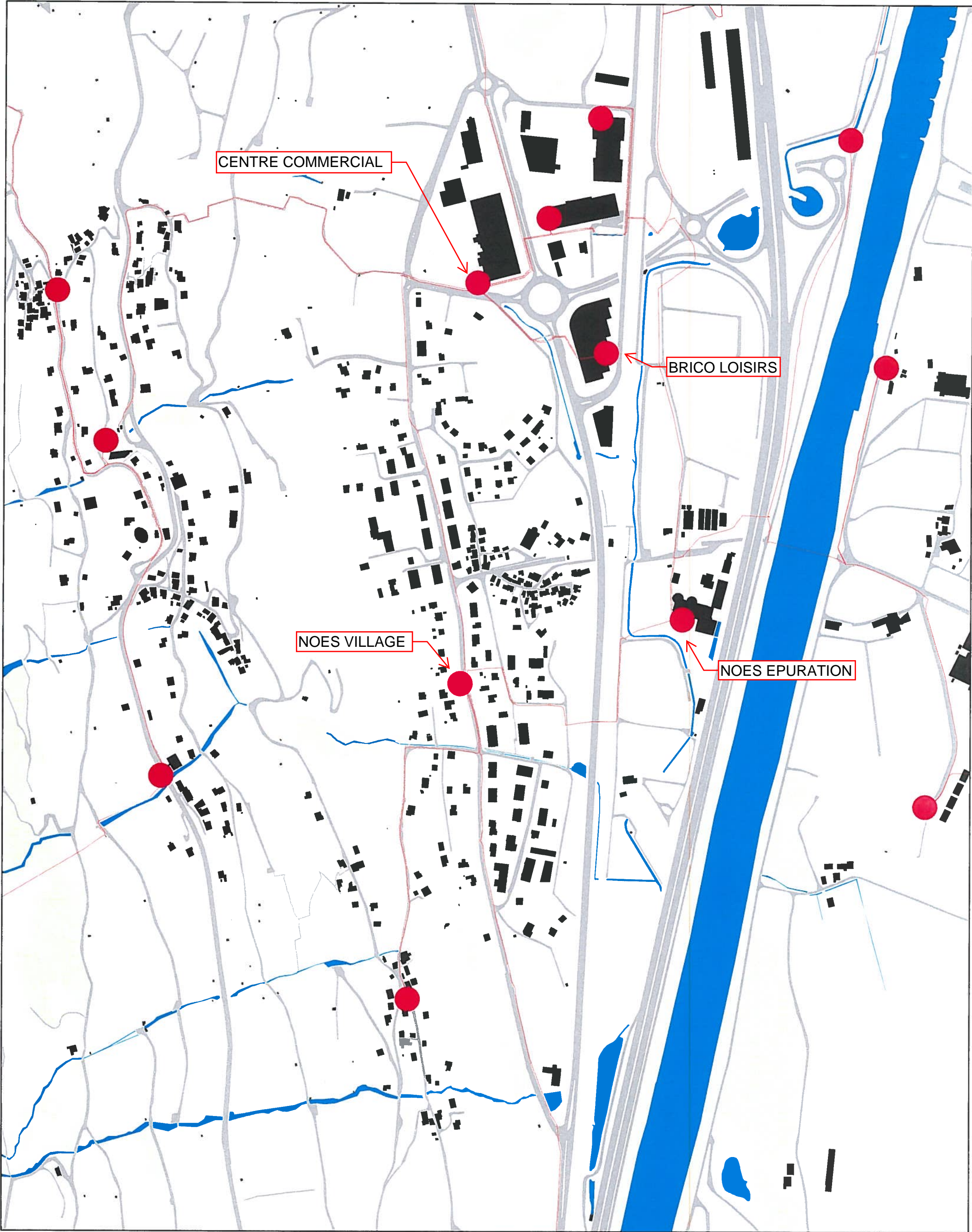
21.8 [Rp/kWh]

9.9. Schéma unifilaire du réseau 16 kV et recensement des transformateurs



INDUSTRIE





Nous attirons votre attention sur le fait que ces plans sont purement indicatifs et ne devront en aucun cas servir de base pour l'exécution de vos travaux.
Avant toute intervention, un repérage et balisage local devront être réalisés par nos services sur demande écrite de votre part, sans quoi notre responsabilité ne saurait être engagée.



© Sierre-Energie SA

Sierre-Energie SA

Créateur Jean-Luc Pont

Date de création 07.08.2019

Sierre-Energie SA

Rue de l'industrie 29

3960 Sierre

Créé pour l'échelle 1:5 000

0 44 000 m

