



AGERIN SAS

Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels

11, avenue du 8 mai 1945, 09120 Varilhes

Projet de picocentrale hydroélectrique pour l'alimentation en électricité du refuge Wallon- Marcadau

Commune de Cauterets (65)



Figure 1: Vue sur le refuge du Wallon et le futur tracé de la conduite d'eau (cliché AGERIN SAS, 2016)

Version 1.0 (provisoire)
Novembre 2017

Rédaction : Cédric Barrau, Romain Carbonnaux
Relecture : Alexis MERCIER
Contrôle qualité : Alexis MERCIER

AGERIN

SAS au capital de 60 000 €

Etudes et Conseil - Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels

Tél. : 05 61 64 63 31 Fax : 09 72 47 51 86 E-mail : info@agerin.net

RCS Foix : 441 584 752 SIRET : 441 584 752 00022

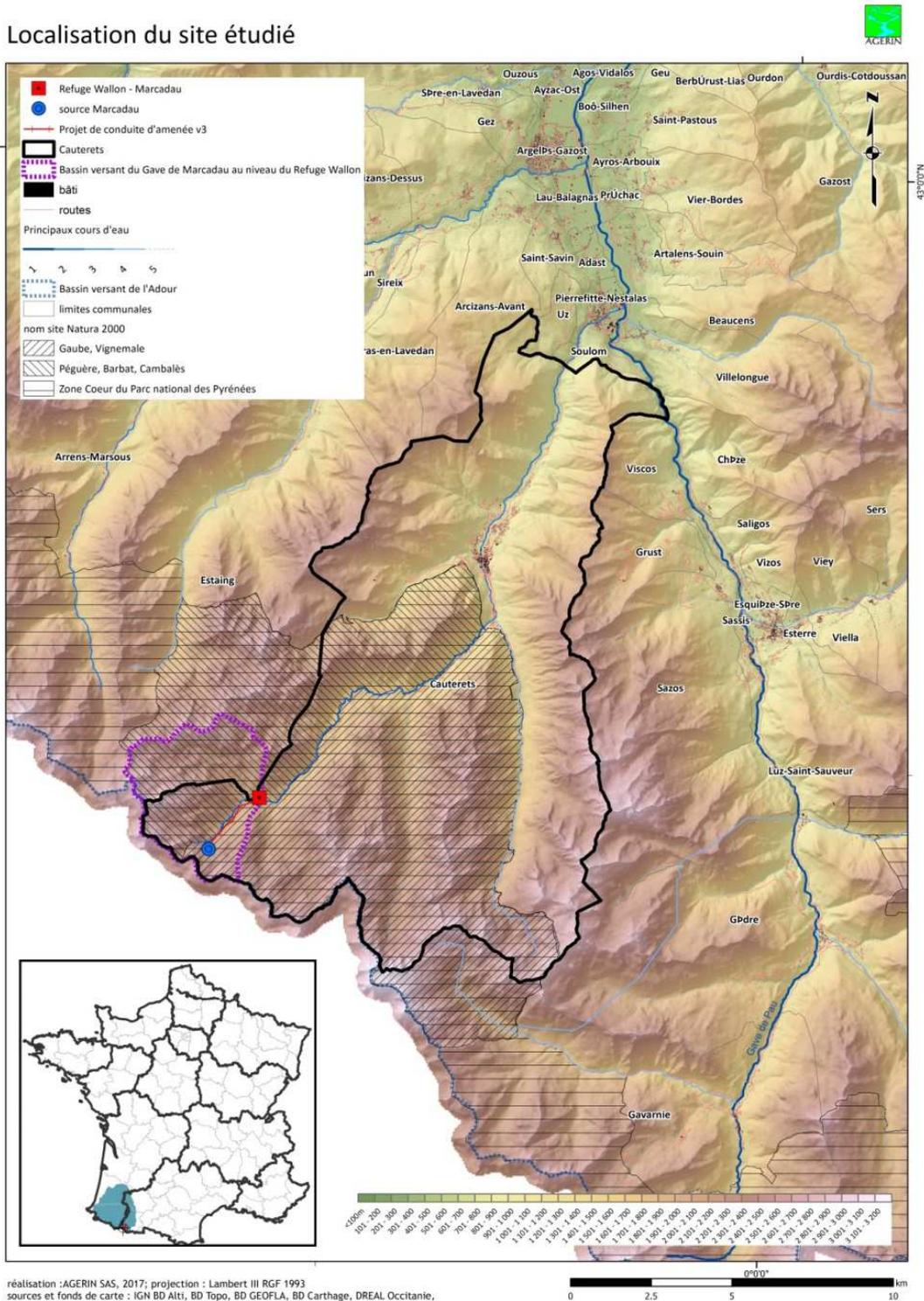
SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	3
2	ANALYSE DU POTENTIEL HYDROELECTRIQUE	5
2.1.1	<i>Hauteur de chute.....</i>	5
2.1.2	<i>Suivi hydrologique 2016-2017 de la source du Marcadau</i>	5
2.1.3	<i>Débit de dimensionnement</i>	7
2.1.4	<i>Influence de la dérivation sur le débit du cours d'eau</i>	8
2.1.5	<i>Puissances hydroélectriques.....</i>	9
3	DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS	10
3.1	LE CAPTAGE	10
3.2	LA CONDUITE D'AMENEE	12
3.2.1	<i>Caractéristiques.....</i>	12
3.2.2	<i>Conduite d'aménée.....</i>	14
3.2.3	<i>Mise en œuvre.....</i>	25
3.3	INSTALLATION DE LA PICOCENTRALE	29
3.3.1	<i>Le local technique.....</i>	29
3.3.2	<i>Groupe turbine</i>	29
3.3.3	<i>Caractéristique de la connexion électrique</i>	31
3.4	ALIMENTATION EN EAU POTABLE.....	34
3.5	L'OUVRAGE DE FUIITE	34
3.6	PLANNING PREVISIONNEL	35
3.7	CHIFFRAGE ESTIMATIF.....	36
4	SYNTHESE.....	38
ANNEXES.....		39
	PRINCIPE DE MISE HORS GEL DE LA CONDUITE (SOURCE NOTE DE SYNTHESE, DIPLOME UNIVERSITAIRE DE GARDIEN DE REFUGE, MAUD SUBIT, 2009).....	39
	CALCUL DES PERTES DE CHARGES	40
	RESISTANCE AUX COUPS DE BELIER	42
	DETAIL DES GROUPES TURBINE PELTON ET GENERATRICE A AXE VERTICAL DES MICROCENTRALES HYDROELECTRIQUES ECOWATT HYDRO IREM, SERIE TPS AVEC GENERATRICE SYNCHRONNE ET TURBINE A FLUX TRAVERSANT.....	43
	DEBITS MOYENS JOURNALIERS MESURES A LA SOURCE MARCADAU DU 28 JUILLET 2016 AU 23 AOUT 2017	44
	NOTE DE CALCULS SUR LES RAYONS DE COURBURE DU PE100 SDR7,4/PN25 Ø 110 MM.....	45

1 Introduction

La Commission Syndicale de la Vallée de Saint-Savin (CSVSS) prévoit de réaliser des travaux de restructuration-réhabilitation sur le refuge Wallon-Marcadau situé à Cauterets (65 110) à une altitude de 1865 m NGF, au cours de l'été et l'automne 2018.

Localisation du site étudié



Carte 1 : Localisation du projet (cartographie AGERIN SAS)

2 Analyse du potentiel hydroélectrique

Le potentiel hydroélectrique de la source choisie, la source du port du Marcadau, dépend de la hauteur de chute et du débit prélevé. Ces 2 paramètres ont été finement analysés.

2.1.1 Hauteur de chute

La hauteur de chute se caractérise par la différence d'altitude entre le niveau de l'eau amont dans l'ouvrage de captage et la turbine hydraulique. L'eau amont est à une altitude de 2197 m NGF et celle de la turbine est 1865 m NGF.

Ceci nous fait une hauteur de chute de 332 mètres, ce qui constitue une haute chute.

2.1.2 Suivi hydrologique 2016-2017 de la source du Marcadau

Afin de connaître le débit de la source, un suivi hydrométrique a été réalisé entre août 2016 et août 2017. Les hauteurs d'eau ont été mesurées à l'aide de sondes pressiométriques autonomes posées dans l'ouvrage de captage de la source du Marcadau.

Ces mesures en temps réel ont été associées à des mesures de vitesse d'écoulement dans le ruisseau à l'aide d'un moulinet permettant d'avoir une estimation de la vitesse moyenne et donc du débit transitant au travers une section connue.

La sortie de l'ouvrage de captage forme un déversoir triangulaire à crête épaisse (cf. photo ci-contre).



Le débit sortant peut donc être calculé par une loi mathématique, en fonction de la hauteur d'eau mesurée :

$$Q = \mu \frac{16}{25} \sqrt{\frac{2g}{5}} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) h^{5/2}$$

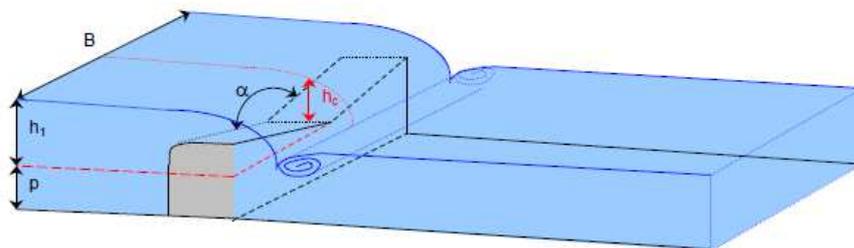


Figure 2 : Déversoir triangulaire à crête épaisse (source : Cetmef)

Le coefficient μ dépend de la géométrie de l'ouvrage ; il a été calculé à partir de mesures avec un déversoir triangulaire calibré : $\mu = 0,73$.

La hauteur d'eau a été suivie en continu grâce à une sonde de pression posée en août 2016 et récupérée en août 2017. Les débits ainsi calculés sont représentés sur le graphe ci-dessous.



Figure 3 : évolution de débits entre 26 juillet 2017 le 23 août 2017 (mesures et calcul : AGERIN SAS)

Pendant la période hivernale (de décembre à avril), le débit moyen est de 4,5 l/s avec un minimum de 3 l/s atteint de manière sporadique¹. Il y a eu 2 pics de débits exceptionnels respectivement le 23 octobre à 79 l/s et le 5 novembre à 45 l/s. Le maximum estival a été atteint fin mai, à 55 l/s.

¹ Il est vraisemblable que ces bas débits hivernaux soient exagérés du fait d'un probable gel de l'exurgence qui pourrait faire passer une partie du débit de la source à côté du captage.

2.1.3 Débit de dimensionnement

Pendant l'été d'hiver (de novembre à avril), le débit de la source oscille entre 4 et 5 l/s. Le débit de dimensionnement retenu est donc de 4 l/s.

Pour des raisons de simplification de la gestion énergétique, la turbine sera bridée pour produire au maximum **10 kW**. En tenant compte du rendement des installations électriques et des pertes de charge dans la conduite (voir puissances ci-après), cette puissance correspond à un **débit maximum dérivé de 4 l/s**. Cette production pourra ponctuellement être inférieure à 10 kW en fonction de l'eau disponible au niveau du captage.

Les mesures de niveau d'eau au niveau du captage actuel entre juillet 2016 et août 2017 ont permis de reconstituer les débits issus de la source du col de Marcadau dont il est prévu le captage. La chronique de débit constituée sur une année entière nous a permis de connaître les débits de la source.

Tableau 1 : Débit moyen, minimum et maximum par mois mesurés au niveau du captage de la source

	Moyenne	Min	Max
juil-16	13.99	10.00	16.68
août-16	8.86	5.26	14.22
sept-16	7.74	5.26	25.49
oct-16	10.06	4.07	78.74
nov-16	9.63	4.02	45.25
déc-16	5.58	3.02	8.15
janv-17	4.27	2.18	6.58
févr-17	4.60	2.18	6.58
mars-17	4.54	3.02	6.58
avr-17	5.28	3.02	8.15
mai-17	23.68	5.21	55.19
juin-17	31.23	14.14	50.07
juil-17	11.57	6.53	25.36
août-17	6.82	3.98	9.86
Période de mesure	10.56	2.18	78.74

Les débits moyens mensuels de la source oscillent ainsi entre 31,2 l/s en juin et 4,2 l/s en janvier pour un débit moyen annuel de 10,6 l/s. Le **débit minimum à maintenir à l'aval du captage ou débit réservé sera de 1 l/s**, représentant le dixième du débit moyen annuel issu des mesures effectuées.

2.1.4 Influence de la dérivation sur le débit du cours d'eau

En utilisant la chronique de débit disponible sur la période de juillet 2016 à août 2017, nous pouvons illustrer le débit déversé dans le cours d'eau à l'aval du captage si l'installation avait été réalisée. Ce débit comprend le débit réservé additionné au débit de déversement sachant que le débit prélevé ne sera jamais supérieur à 4 l/s.

Tableau 2 : Projection du débit moyen, minimum et maximum mensuel déversé dans le cours d'eau à l'aval du captage

	Moyenne	Min	Max
juil-16	9.99	6.00	12.68
août-16	4.86	1.26	10.22
sept-16	3.74	1.26	21.49
oct-16	6.06	1.00	74.74
nov-16	5.63	1.00	41.25
déc-16	1.73	1.00	4.15
janv-17	1.11	1.00	2.58
févr-17	1.17	1.00	2.58
mars-17	1.11	1.00	2.58
avr-17	1.55	1.00	4.15
mai-17	19.68	1.21	51.19
juin-17	27.23	10.14	46.07
juil-17	7.57	2.53	21.36
août-17	2.82	1.00	5.86
Moyenne	6.73	1.00	74.74

Le débit du cours d'eau à l'aval du captage sera réduit au débit réservé durant les mois de l'étiage automne/hiver, ici d'octobre à avril et durant quelques jours en été, ici en août.

2.1.5 Puissances hydroélectriques

La **puissance maximale brute (PMB)** est le produit du débit dérivé maximum et de la hauteur de chute brute, sans tenir compte des pertes de charge ni du rendement des machines : c'est la puissance potentielle de l'aménagement. Tenant compte de la **hauteur de chute brute maximale de 332 m** et du débit dérivé maximum de 4 l/s, la **PMB est estimé à 13 kW**.

$$PMB = \rho g QH = 13 \text{ kW}$$

La **puissance normale disponible (PND)** représente la puissance productive de l'aménagement ; elle tient compte du débit moyen turbinable Q_M , des pertes de charges p (7 %) et du rendement des machines η (0,83). **La PND est estimée à 10,0 kW**.

$$PND = \rho g Q_M (H - p) = 10 \text{ kW}$$

Pour simplifier la gestion des sources d'énergie, la turbine sera limitée à 10 kW. Ainsi, même quand les débits seront supérieurs à 4 l/s, la puissance produite sera au maximum de 10 kW.

La **production annuelle moyenne a été estimée à 87,6 MWh**.

Toutefois, cette production de 10 kW pourra ponctuellement être réduite du fait d'un débit insuffisant de la source. Suivant la chronique de débit mesuré au niveau du captage, la production pourra diminuer ponctuellement entre octobre et avril avec des minimums pouvant atteindre 5 kW durant l'étiage hivernal (janvier/février) ceci durant pas plus de 2 jours consécutifs selon la chronique de débit disponible. Ce cas demande une simple régulation manuelle du débit afin d'ajuster au mieux la production.

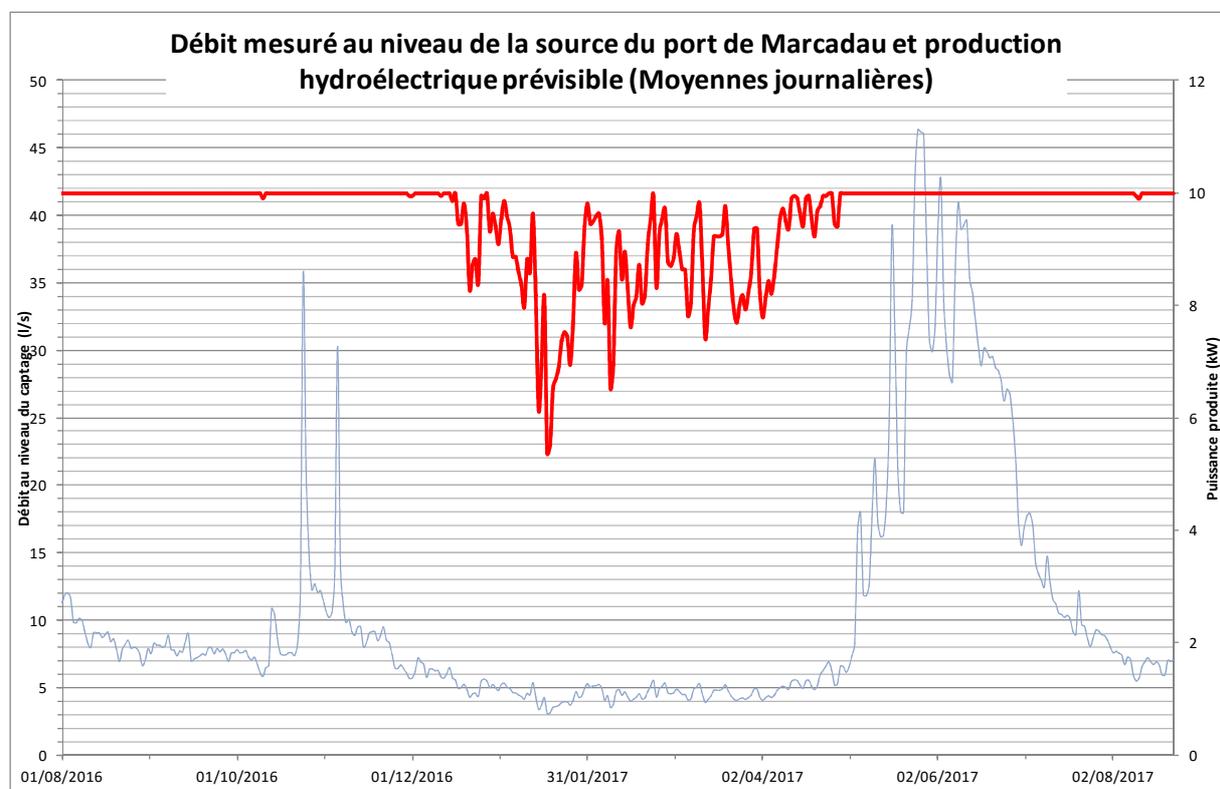


Figure 4 : Production hydroélectrique prévisible en kW au niveau du refuge et débit mesuré au niveau de la source du port de Marcadau (moyennes journalières)

3 Description des aménagements

3.1 Le captage

L'ouvrage actuel, réalisé initialement pour des mesures de débits, sera conservé et complété.

En amont de l'ouvrage, la source sera nettoyée en retirant les pierres pour repérer les sorties d'eau. Des drains en PVC de type agricole et de diamètre 50 mm seront installés contre la roche, puis ils seront recouverts d'une couche de pierres drainante. Une membrane étanche conforme aux normes sanitaires pour l'eau potable sera ensuite posée pour protéger l'eau des pollutions, puis un géotextile non tissé en polypropylène et enfin une couche de terre maintenue par un filet coco fixé dans la roche. Les pierres précédemment retirées pourront être ré-utilisées pour la couche drainante, en plaçant les plus lisses sur le dessus pour ne pas abîmer la membrane.

Dans l'ouvrage, une buse de diamètre 250 mm sera posée à la verticale autour de la sortie pour décanter l'eau. Un orifice de diamètre 3 cm sera percé dans l'ouvrage pour restituer le débit réservé et pour pouvoir vidanger le bassin. La buse autour de la sortie sera 30 cm au-dessus du milieu de l'orifice, afin que le débit restitué soit d'au moins 1 l/s (cf. note de calcul en suivant). L'entrée de l'orifice sera protégée par une grille.

En aval, un regard en béton préfabriqué, accolé à l'ouvrage de captage comprendra une vanne pour pouvoir isoler la conduite et une ventouse triple effet permettant d'évacuer l'air compris dans la conduite lors de son remplissage et d'aspirer l'air lors de sa vidange.

Les capots de l'ouvrage de captage et du regard de contrôle de la conduite devront être cadenasés pour éviter les pollutions humaines et les actes de vandalisme.



Figure 5 : Vue schématique en 3 dimensions du projet d'ouvrage de captage et d'extrémité amont de la conduite d'aménée

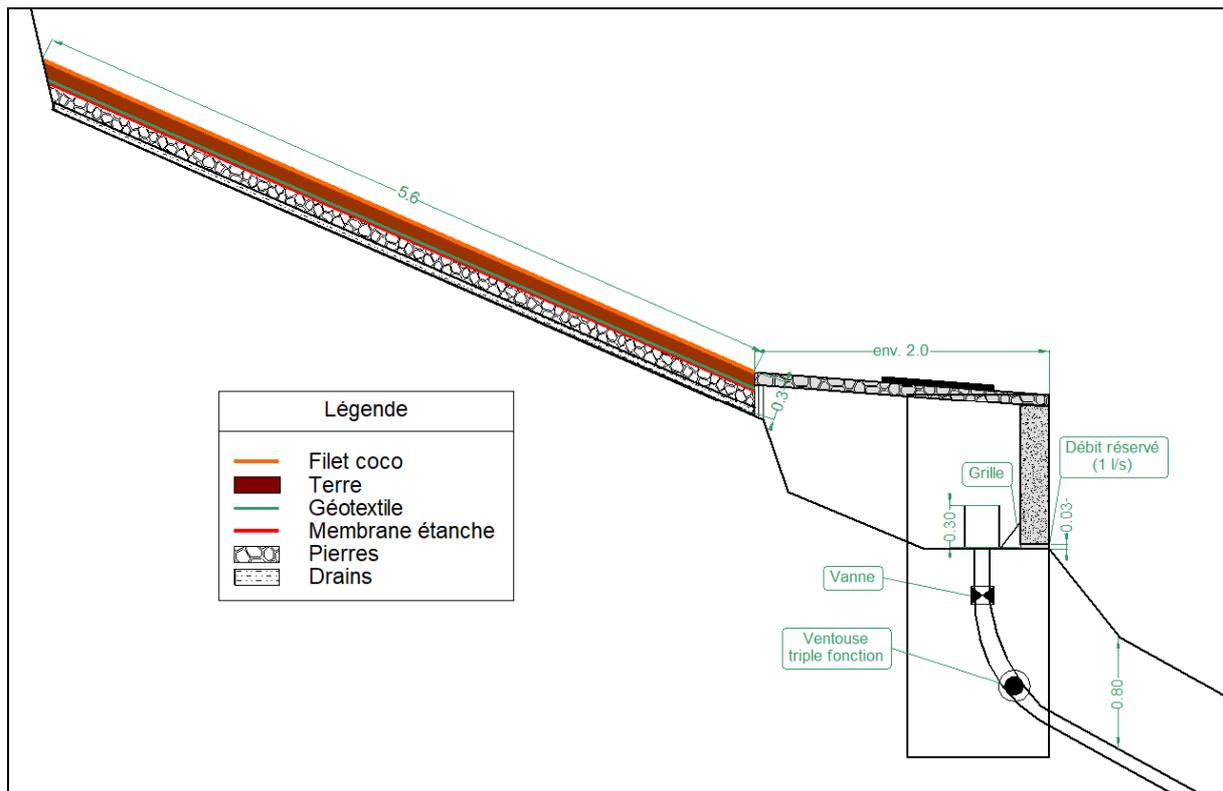


Figure 6 : Coupe transversale du captage

Dispositif de débit réservé

Un orifice de 3 cm de diamètre est percé dans le bac de mise en charge 70 cm en dessous de la côte de mise en eau de la conduite (profondeur actuelle du bassin de captage). A l'amont de l'orifice sera installée une chambre de déversement suivi d'une grille qui la protégera d'une éventuelle obstruction par des sédiments.

Le débit s'écoulant à travers un orifice est donné par la formule :

$$Q = k \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Avec

- k coefficient de débit 0.5 ;
- S section de l'orifice en m² ;
- h charge hydraulique minimum 0.3 m ;
- g accélération de la pesanteur.

Soit $Q_{\text{orifice}} = 1 \text{ l/s}$.

Cette valeur est égale à la valeur du débit réservé (1 l/s).

3.2 La conduite d'amenée

3.2.1 Caractéristiques

La conduite d'amenée a une longueur totale de 2550 mètres.

Le choix du matériau pour la conduite s'est porté sur du polyéthylène 100 (PE100). Ce type de canalisation est de type bandes bleues habituellement utilisée pour de l'alimentaire selon la norme EN 12201.

On rajoutera à ce PE100, la résistance tout crack (RC) qui permet à la conduite d'avoir une très bonne résistance mécanique et une solidité aux chocs. Cela permettra d'utiliser les matériaux situés sur place comme fond de fouille. Un lit de sable ne sera pas non plus utile. Toutefois, il est préconisé un diamètre maximum de pierre pouvant toucher la conduite de 63 mm. Un triage des matériaux de la tranchée sera donc nécessaire. De plus, le PE100 RC possède d'autres avantages qui faciliteront la pose et l'usage de l'installation :

- Excellente résistance à la corrosion et à l'abrasion.
- Faible poids (environ 3 kg/ml) et maniable facilement sur place par un opérateur.
- Flexibilité et élasticité (on pourra certainement s'affranchir de la majorité des pièces de forme).
- Faible développement de coup de bélier.
- Faible rugosité et faible pertes de charges linéaires.
- Faible conductibilité thermique qui permet une moindre condensation que pour l'acier ou la fonte.
- Résistance au gel : Les siphons pris dans la glace se prêtent à la déformation et retrouvent sans dommage leur forme initiale au dégel.
- Pose en auto butée, ne nécessitant pas d'assise béton.

La conduite d'amenée sera transportée sur place par hélicoptage sous forme de barres de 6 mètres.

Le diamètre extérieur de la conduite sera de 110 mm (Dint = 80 mm en SDR 7,4). Avec un débit de 4 l/s, les pertes de charge seront de 22 m, soit 7 % de la chute nette (voir calcul en annexe).

La conduite sera de type PN 25 (SDR 7,4), ce qui signifie qu'elle résiste à des pressions de 25 bars pour une température d'environ 20°C. La pression maximale dans la conduite sera de 33 bars, mais étant donné que la température de l'eau sera bien plus basse, la résistance de la conduite sera meilleure.

La contrainte générée par la pression se calcule par la formule de Lamé :

$$\sigma = \frac{(SDR - 1) \times P}{20} = \frac{(7,4 - 1) \times 33}{20} = 10,56 \text{ MPa}$$

Le graphique ci-dessous, fourni par le fabricant Aliaxis, donne la contrainte admissible selon la température de l'eau et la durée d'utilisation. La température de l'eau à la source est d'environ 2,5°C toute l'année, donc on peut supposer que l'eau dans le reste de la conduite sera à moins de 5°C. Ainsi, la contrainte maximale admissible pour une durée de vie de 50 ans est d'environ 13,5 MPa, soit un coefficient de sécurité de 1,27 (le standard pour le transport d'eau est d'au moins 1,25).

La conduite en PN 25 est donc acceptable dans les conditions d'utilisation prévues.

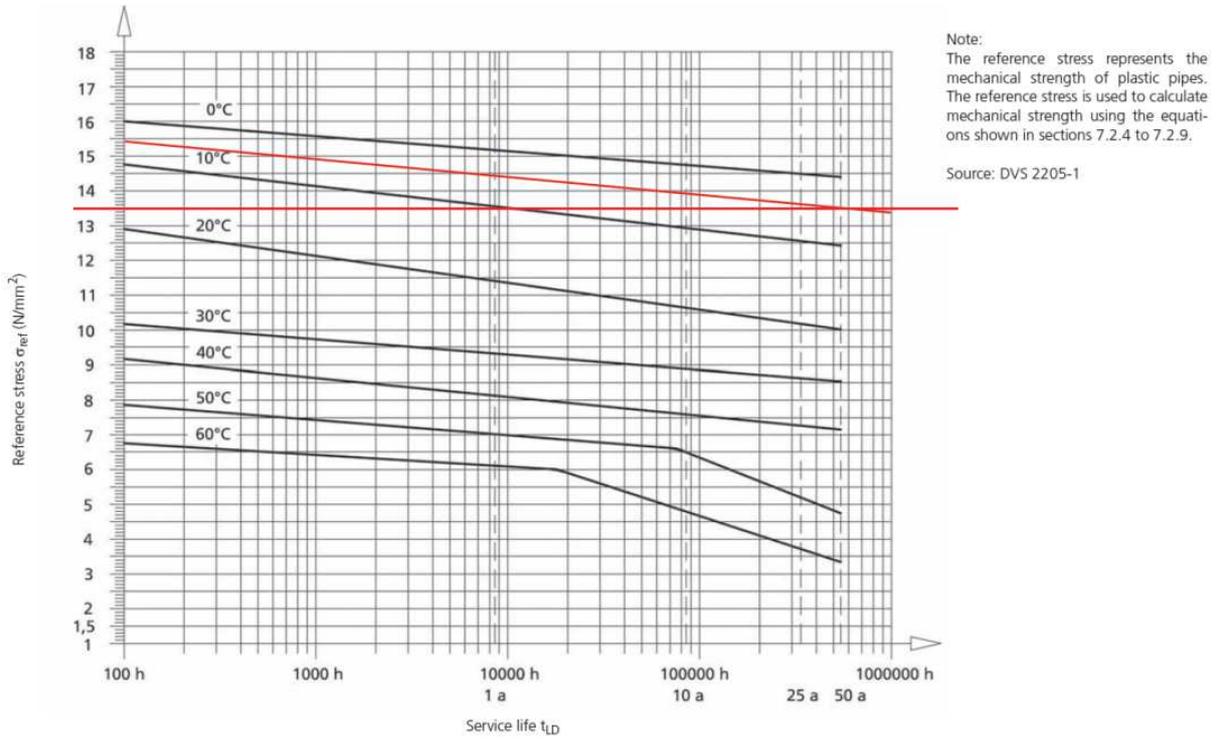


Figure 7 : Contrainte admissible par la conduite selon la température et la durée d'utilisation (Source : Aliaxis)

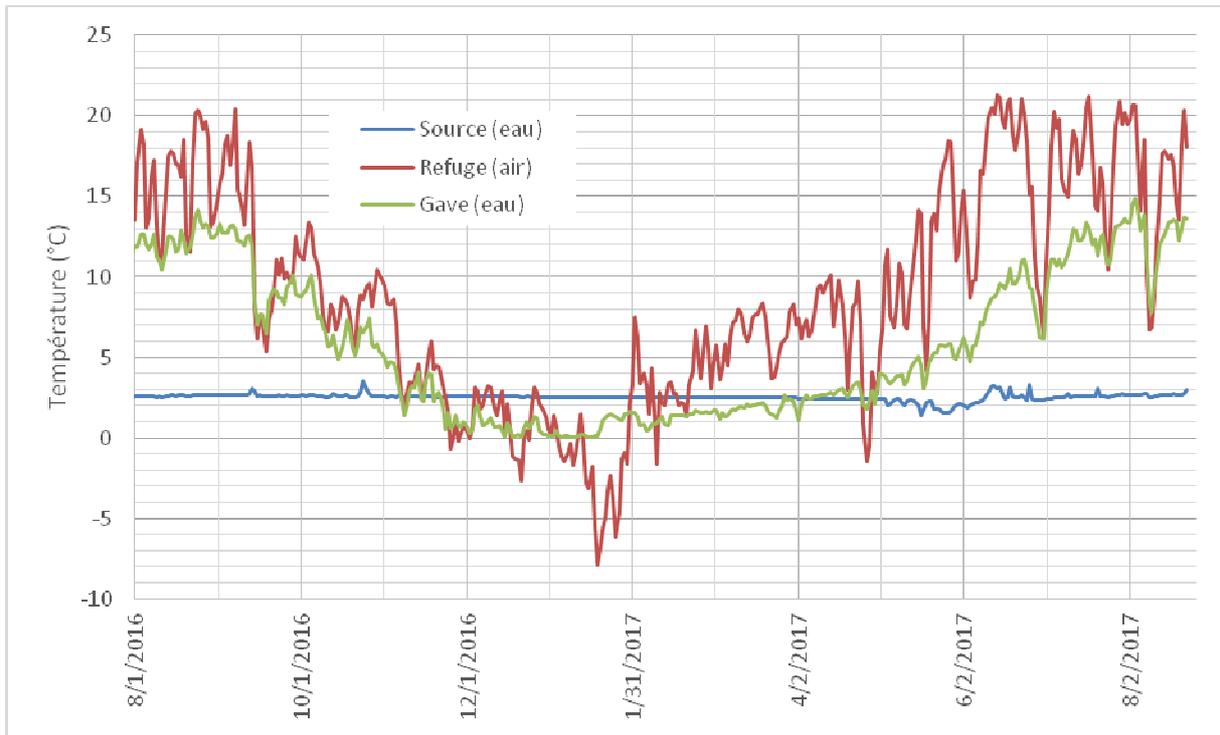


Figure 8 : Températures moyennes journalières d'août 2016 à août 2017

3.2.2 Conduite d'aménée

3.2.2.1 Choix du tracé

Le tracé de la conduite a fait l'objet de plusieurs versions. D'abord défini dans l'étude AMIDEV 2015, il a été pré-positionné par l'équipe d'AGERIN en charge de la conception de l'installation AEP/hydroélectricité en octobre 2016 en fonction des contraintes techniques pour ensuite être adapté par AGERIN dans le cadre de l'étude d'impact environnementale.

A ce titre, le tracé prend en compte au mieux les paramètres du terrain et minimise l'impact environnemental. La conduite sera enterrée sous 80 cm, sauf lorsqu'elle passe en aérien au niveau des passerelles et à l'approche du refuge.

D'amont vers l'aval le tracé se résume comme suite :

- la conduite se situera en rive droite du cours d'eau descendant du captage au-dessus du petit talus de berge.
- Ensuite, elle passera sous le lit d'un affluent rive droite, puis du cours d'eau du col de Péterneille dont la traversée se fera à une altitude de 2030 mètres.
- Elle longera ensuite le talus rive droite du ruisseau du port de Marcadau pour arriver au niveau du Pla de Loubosso sur le talus situé entre les ruisseaux du port du Marcadau et le ruisseau des lacs de Péterneille qu'elle traversera en aérien au niveau de la passerelle située à l'altitude 1930 m.
- De là, le tracé de la conduite suit plus ou moins le tracé du sentier allant au refuge.
- La conduite passe ensuite au dessus du gave de Batans au niveau de la passerelle, longe la zone humide située en contre bas du refuge et arrive au refuge par le sentier. Elle passe en contre bas de la terrasse et arrive au local picocentrale par le sud après avoir fait un virage à 90° pour éviter les murs de soutènement de la terrasse.
- Certains secteurs passeront au-dessus ou à proximité de massifs rocheux en granit. La profondeur de déroctage pourra être adaptée selon les contraintes locales, nécessitant éventuellement une isolation supplémentaire de la conduite contre le gel.
- Entre la passerelle « aval » et le refuge Wallon, le tracé décrit une courbe entre la passerelle et le refuge en évitant ainsi les zones à roche affleurante, tout en évitant au maximum les zones de tourbières les plus sensibles (buttes à sphaignes colorées et zones à *Drosera rotundifolia* en intégrant la conduite au niveau du début du talus rive gauche pour finir au niveau du chemin de randonnée situé à l'ouest du refuge.

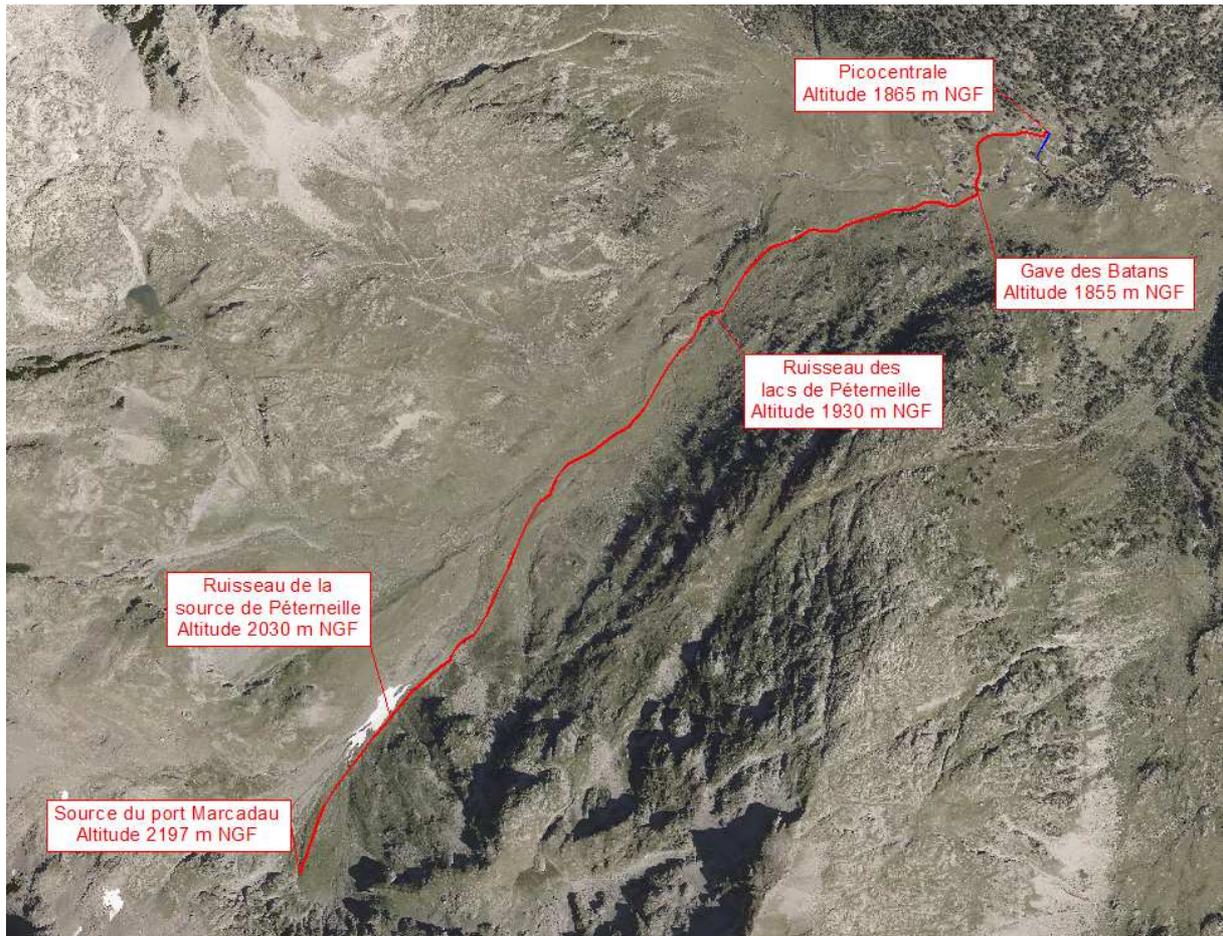


Figure 9 : Tracé de la conduite

3.2.2.2 Terrassement

La réalisation de la tranchée de la conduite d'alimentation en eau potable et de la picocentrale impose de réaliser des travaux de terrassement sur une profondeur de 80 centimètres, afin de mettre la conduite hors gel. En fonction du godet utilisé, des déroctages éventuellement nécessaires et du substrat, la tranchée ouverte avant la pose de la conduite pourra atteindre une largeur de 1 mètre.

La mise en place de la tranchée et la pose de la conduite implique la réalisation de travaux de déroctage au niveau des parties enrochées. Le rocher affleurant se situe la plupart du temps en profondeur mais quelquefois, il affleure en surface ou subsurface.

Nous prévoyons notamment deux endroits où un déroctage de surface sera nécessaire, situés de part et d'autre de la passerelle aval. La finition devra être soignée puisque la conduite se situera à proximité / sous un chemin de randonnée. Il faut ajouter à cela au moins 5 autres endroits où il sera potentiellement question d'un déroctage de profondeur selon les observations du terrain environnant.

Le plus souvent il s'agit de dalles de roches cristallines (notamment granites) polis par les glaciers et très résistants au déroctage. Par ailleurs on ne peut exclure la présence éventuelle de blocs de grande taille enfouis dans la matrice des dépôts et placages morainique dominant le tracé.

Projet de rehabilitation du refuge Wallon-Marcadau



Localisation des aménagements et travaux prévus dans le cadre de l'adduction en eau potable et de la production hydroélectrique

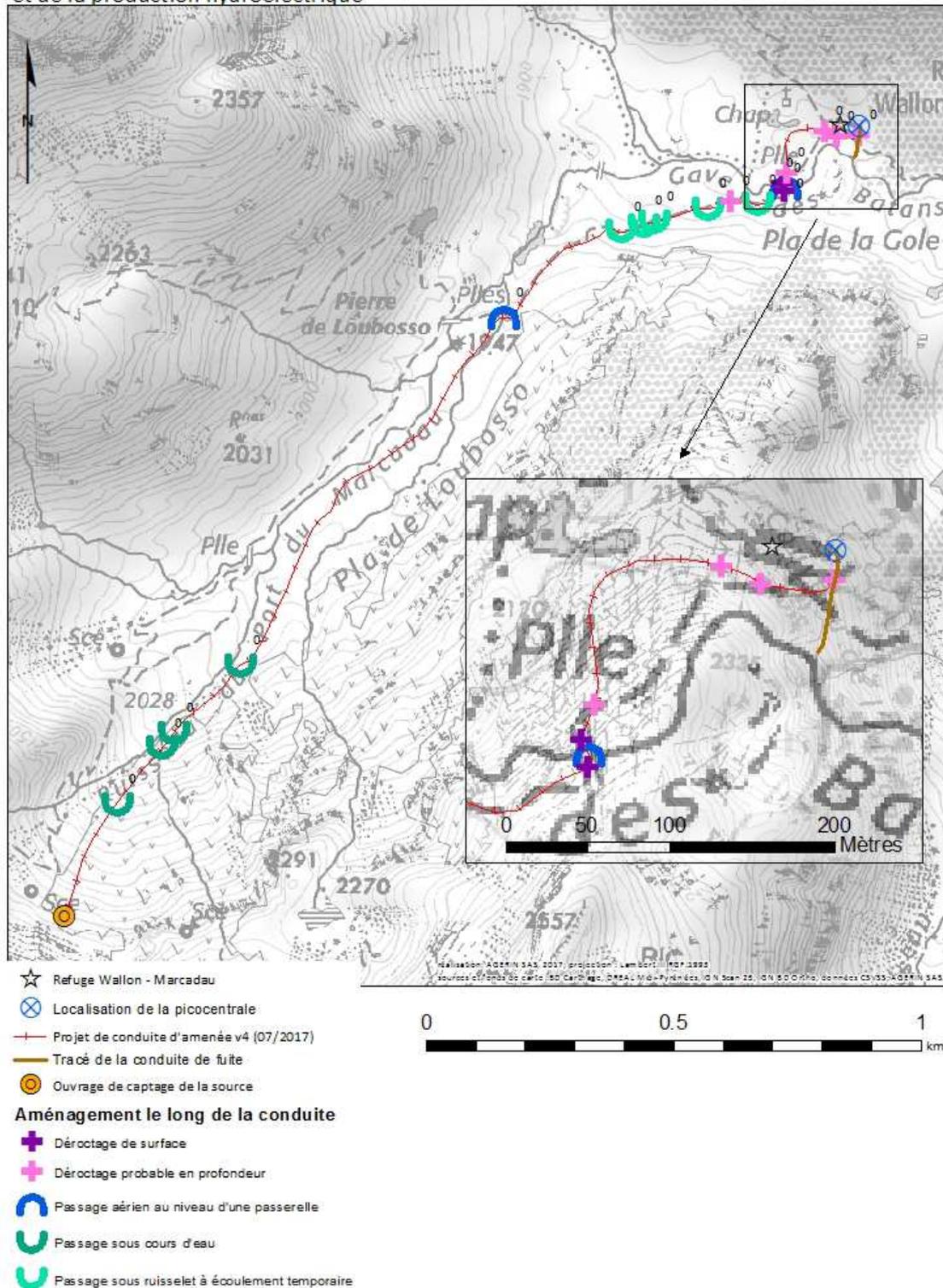


Figure 10 : Plan de situation des travaux et aménagement prévus dans le cadre de l'adduction d'eau potable et de la production hydroélectrique

3.2.2.3 Passage de cours d'eau

Afin d'éviter que la conduite soit endommagée lors d'épisodes torrentiels exceptionnels pouvant être à l'origine d'un surcreusement du lit et de l'apport important de matériaux, le fond des talwegs de cours d'eau au niveau de la conduite traversante sera pavé par un lit de blocs de pierres de largeur minimum 50 cm sur une largeur de 1 mètre dans l'axe du cours d'eau et une longueur de 2 mètres qui devra suivre la pente naturelle du cours d'eau. Les berges et le fond du lit seront ensuite laissés à l'identique, c'est à dire que les berges seront remises en état (situation et hauteur respectée par rapport au niveau initial ou par rapport à l'amont et l'aval) et le fond du lit parsemé de blocs ou pierres comme à l'état initial.

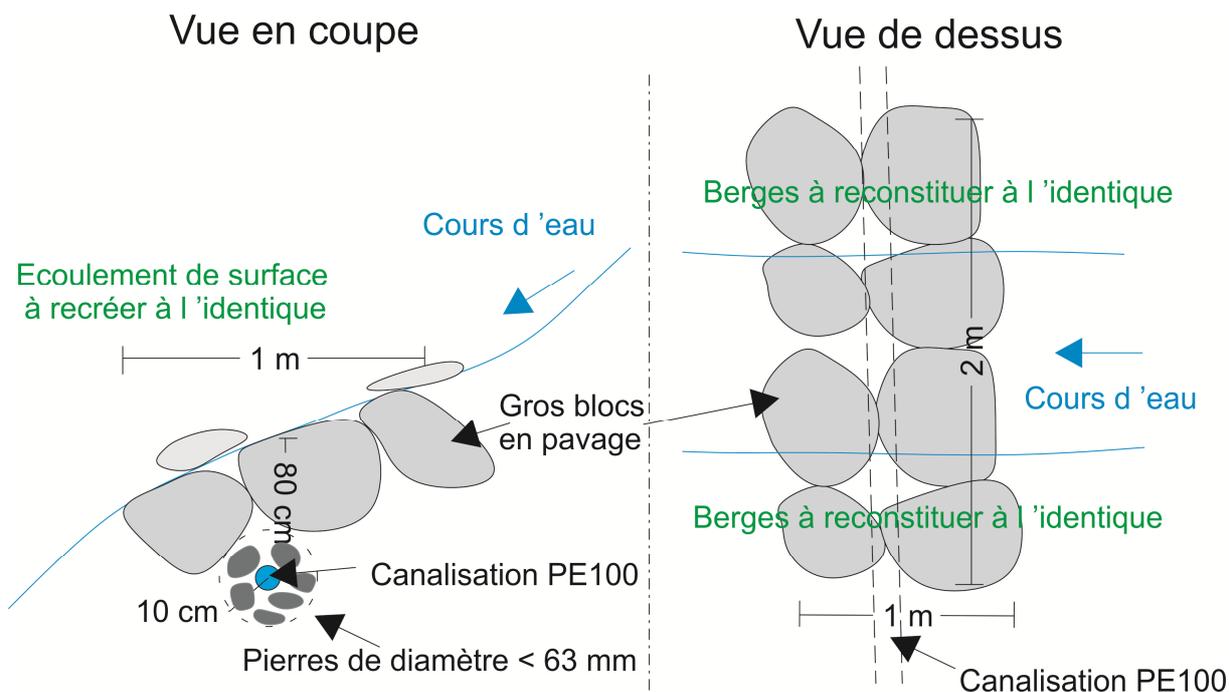


Figure 11 : Principe de passage de cours d'eau

En ce qui concerne les cours d'eau ou talwegs situés le long du sentier pouvant subir des écoulements lors des périodes de fonte notamment, il conviendra de positionner des blocs de chaque côté des rives afin de faciliter le franchissement des cours d'eau et d'éviter aux écoulements anarchique de fonte d'éroder le sentier.



Figure 12 : Aménagement à prévoir aux traversées des talwegs le long du sentier du refuge au col du Marcadau

3.2.2.4 Passage aérien au niveau des deux passerelles

Les passages aériens de la conduite au niveau des passerelles se feront à l'aide de canalisations pré-insulées contre le gel. Elles seront protégées par une enveloppe extérieure en PE100 (SDR33) de diamètre 200 mm qui la protégera contre les éventuels actes de vandalisme et des dommages dus à une submersion de la passerelle. Dans les deux cas, la conduite sera située dans l'ombre hydraulique de la passerelle, sur sa partie aval.



Figure 13 : Photos des passerelles aval à droite et amont à gauche



Figure 14 : Exemple d'une canalisation aérienne isolée avec les fixations adéquates

Dans le cas de la passerelle aval, des saignées dans les rochers situés en rive droite et en rive gauche seront nécessaires. L'arbre situé à l'amont rive gauche de la passerelle sera préservé puisque la conduite passera à l'aval de la passerelle et au niveau de la tranchée qu'il faudra réaliser dans le rocher rive gauche. Un rehausse de la passerelle de 10 centimètres est à prévoir afin que les incidences du projet sur une crue de référence de type juin 2013 soient négligeables.

Vue depuis l'aval

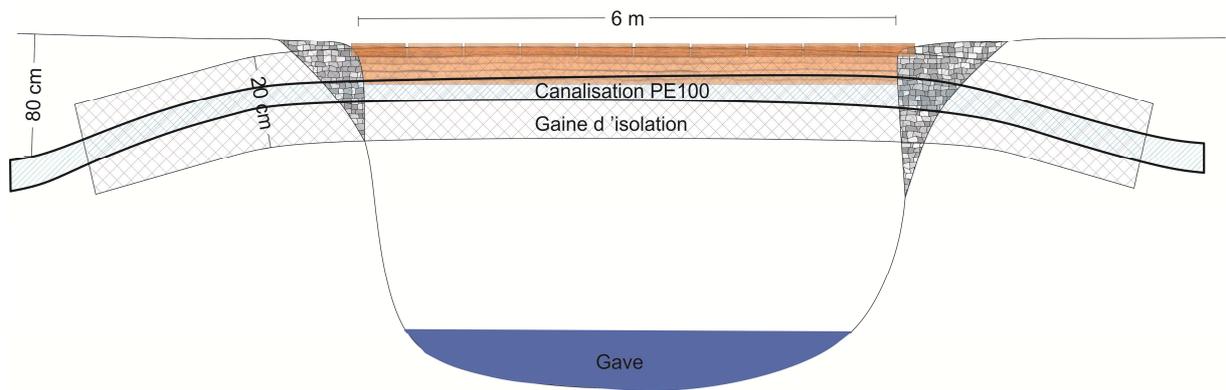


Figure 15 : Schéma de principe de la traversée de la canalisation au niveau des passerelles

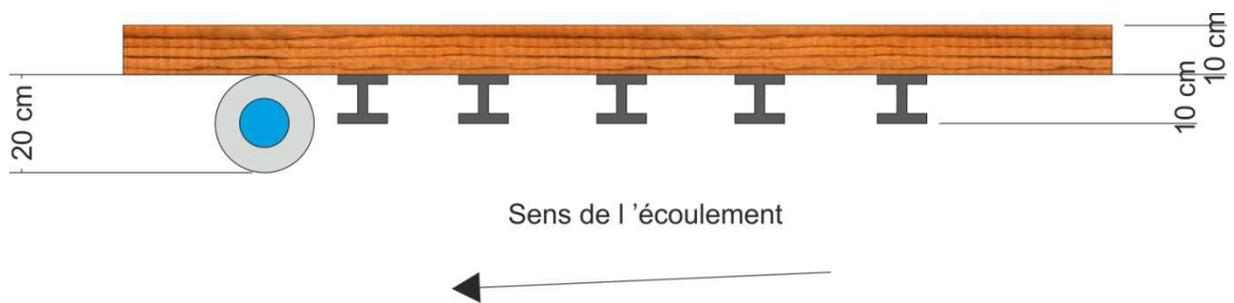


Figure 16 : Coupe en long type de la traversée de la conduite au niveau des passerelles

3.2.2.5 Profil en long de la conduite

La conduite d'amenée aura une longueur totale de 2511,74 et un dénivelé de 330m entre l'altitude entre environ 2198 m et 1868 m d'altitude. Elle sera enterrée sur 80cm de profondeur sur tout le long à l'exception des passages aériens sur les deux traversés principales de cours d'eau se faisant au droit de passerelles existantes.

Le profil en long ci-dessous permet de constater la diminution progressive de la pente d'amont en aval. Y sont localisés les passerelles et ruisselets à traverser.

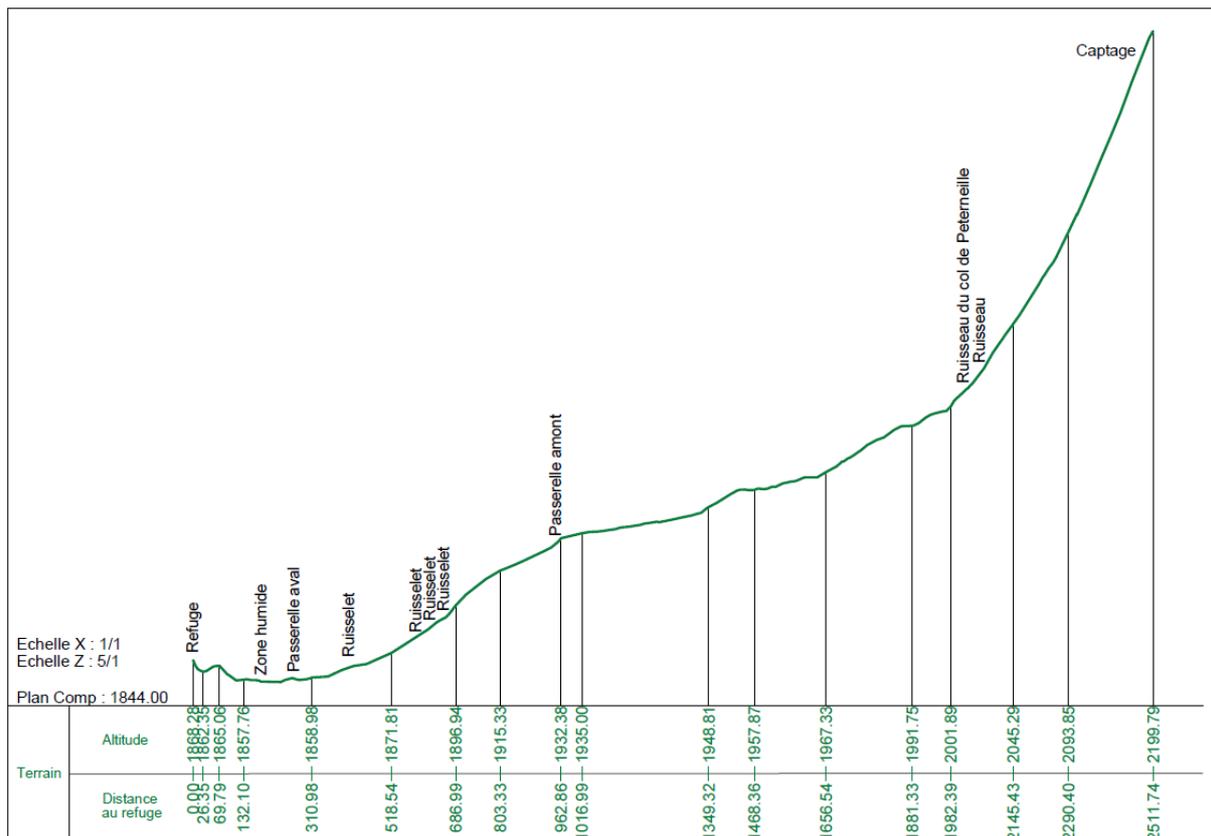


Figure 17 : Profil en long du tracé de la conduite (niveau de surface).AGERIN SAS

3.2.2.6 Organes de vidange de la conduite et procédure

Afin de prévoir les éventuelles opérations de maintenance de la conduite, il est nécessaire de prévoir la vidange complète de la conduite. Il convient toutefois de préciser que la vidange d'une telle conduite est une procédure exceptionnelle qu'il convient de réserver pour les cas d'urgence lorsqu'il est prévu notamment des travaux sur la conduite. En effet, il sera toujours privilégié le fonctionnement du by-pass et la circulation permanente d'un flux au travers de la conduite afin de prévenir le risque de gel avant de prévoir la vidange complète de la canalisation.

Or, le point bas de la conduite se situe au niveau de la zone humide située en contre bas du refuge. La vidange de la conduite entière (12,6 m³) à ce niveau paraît trop impactante pour le milieu. Ainsi, il convient de respecter une procédure de vidange stricte afin de perturber le moins possible le milieu. Cette procédure consiste à effectuer des opérations dans l'ordre qui suit :

- Fermeture lente et progressive de la vanne d'arrêt située au niveau du captage à 2200 mètres,
- Ouverture de la vanne de fuite suivie de la fermeture lente de la vanne d'alimentation de la picocentrale située au niveau du local picocentrale à 1865 m d'altitude (soit la vidange de 2084 mètres de conduite qui représentent 10,5 m³),
- Ouverture de la vanne de vidange secondaire située en rive droite du gave de Batans (soit la vidange de 270 mètres de conduite qui représentent 1,4 m³),
- Ouverture de la vanne de vidange secondaire située en contre bas du refuge et se rejetant dans la conduite de fuite (soit la vidange de 70 m de conduite soit 0,35 m³).
- Ouverture lente (afin de perturber le moins possible le milieu) de la vanne de vidange secondaire située au niveau de la zone humide (soit la vidange du reste de la conduite qui représente 350 litres). Cette vidange se fera au niveau de l'exutoire de la zone humide au moyen d'une conduite PE PN25 à enterrer dans la zone humide à la main pour perturber le moins possible le milieu.

Chaque ouvrage de vidange sera composé d'un té fixé sur la conduite, d'une vanne manuelle surmonté d'une rallonge, d'un réducteur de pression et d'un clapet anti retour dans le cas de la vanne située dans la zone humide. Les vannes seront verrouillées, empêchant les actes de vandalisme. Le fonctionnement de la vanne de vidange secondaire de vidange située au niveau de la zone humide impose de disposer d'une vanne en inox.

Le pompage depuis le local technique de la picocentrale du restant de la conduite lors de la vidange, soit 1900 litres a été étudié mais par ce procédé, la vidange risque de ne pas être complète.

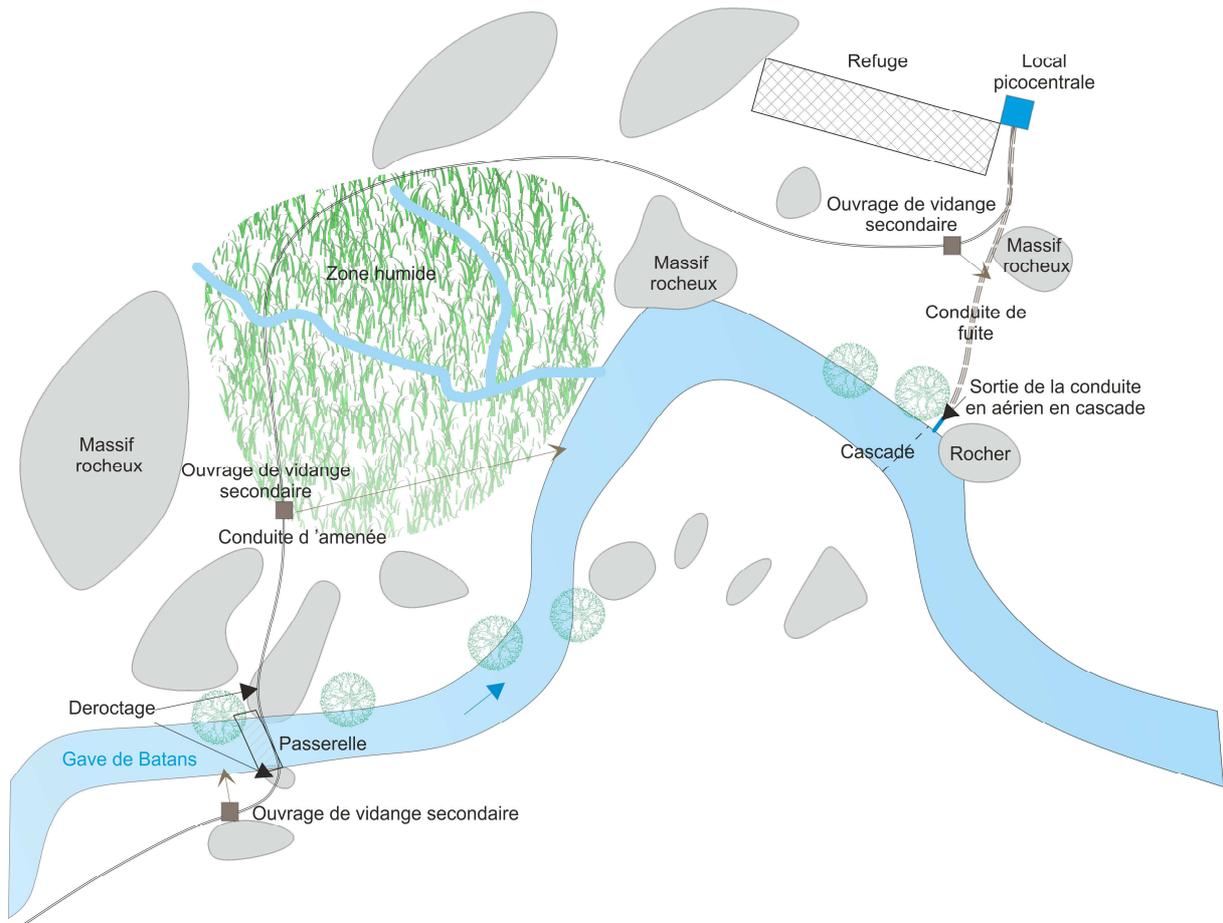


Figure 18 : Vue en plan de l'arrivée de la conduite au niveau du refuge

3.2.2.7 Organes annexes de protection contre la surpression

La conduite sera soumise à des fortes pressions (34 bars au maximum). Même si le matériau choisi (PE100 RC) permet de diminuer les effets d'un éventuel coup de bélier ou autre surpression et si des procédures d'usage des différents organes de la conduite seront clairement définies, il convient de prévoir les organes nécessaires afin de parer à un éventuel incident de manipulation sur la conduite.

Ainsi, les points hauts (captage et arrivée au refuge) seront équipés de **ventouse à double effet** permettant à la fois de chasser l'air contenu dans la conduite d'eau lors du remplissage et d'éviter le vide pouvant se créer lors de la vidange de la conduite.

Toutes les **vannes** seront à **sectionnement manuel** et à manœuvre lente ce qui diminuera l'intensité des éventuels coups de bélier pouvant se former lors des fermetures ou des ouvertures.

Certaines vannes de vidange, de by-pass (ou de débit de fuite) ou AEP (alimentation en eau potable du refuge) seront accompagnées de réducteurs de pression (ou brise-charge) afin de réduire la pression et de rester dans les limites acceptables des différents organes montés à l'aval.

Une **soupape de sécurité canalisée** sera également montée à l'arrivée de la conduite afin de protéger la canalisation en cas de surpression accidentelle.

Ces organes de sécurité seront essentiellement situés à l'intérieur du local technique de la picocentrale afin d'en faciliter l'usage et la maintenance.

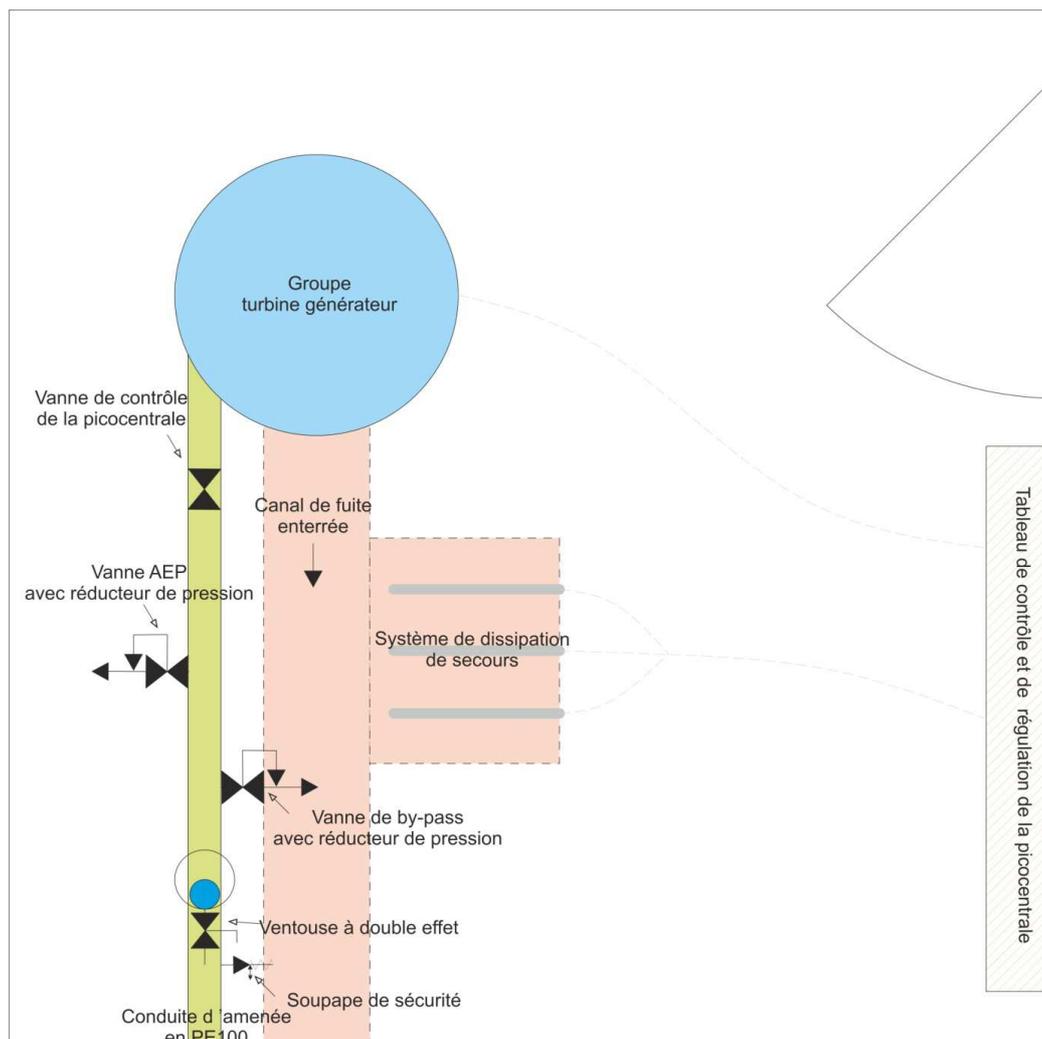


Figure 19 : Plan schématique de l'intérieur du local technique de la picocentrale

3.2.3 Mise en œuvre

3.2.3.1 Emprise du chantier de la conduite d'eau

L'emprise du chantier de conduite est estimée à 5 m de largeur (estimation large à partir d'une largeur devant se limiter de 3.5 à 5 m), zones de circulation, de dépôts et tranchée comprises. Il en résulte une bande de 2.50 km de long (projection en surface) et occupant 12 434 m², soit **1.24 ha**.

En plus de cette zone de travaux il faut ajouter une zone de chantier autour du captage et des zones de dépôts temporaires :

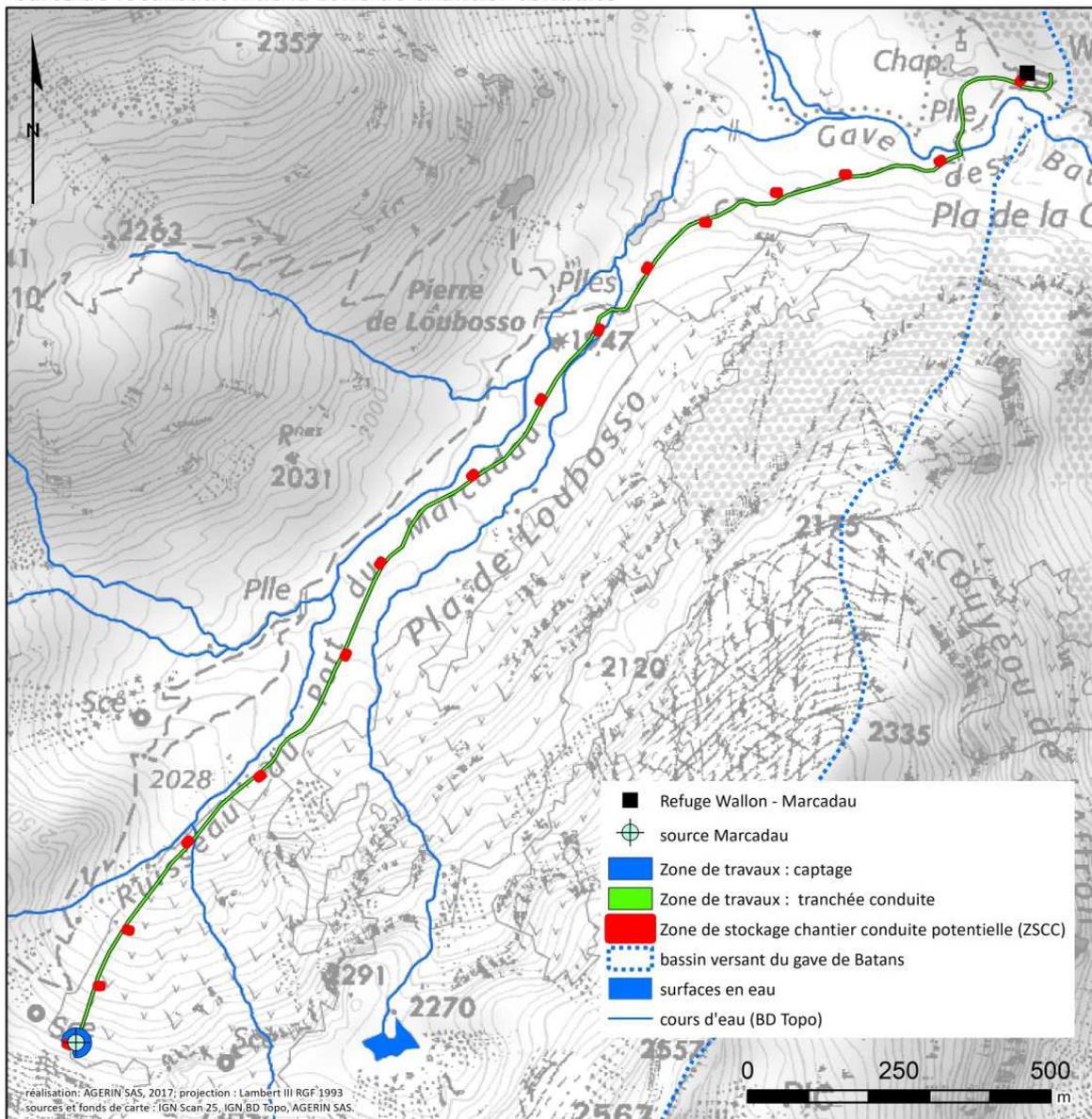
- Les éléments constitutifs de la conduite seront acheminés par barres de 6 mètres, pesant environ 30kg chacune et permettant alors l'acheminement d'environ 30 conduites par rotation d'héliportage (900kg). Il en résulte un acheminement possible des éléments constitutifs de la conduite (sans vannes et matériel supplémentaire) en environ 16 rotations et leur mise en place manuelle le long de la conduite. A cette fin des zones de stockage des barres ont été identifiées. Elles sont basées sur une estimation du besoin d'une surface de stockage de 4x8m (32m²) disposée sur 16 zones de stockage, dont une dans la zone de chantier au droit du refuge et une autre au droit de la zone de travaux du captage, soit 480m² ou 0.048 ha.
- Zone de travaux de captage : rayon de 25m autour du captage à l'exclusion de la zone des falaises : environ 1640m², soit 0.16 ha. Au total, emprise du chantier de tracé et zones de stockage, il en résulte une emprise temporaire de 14554m² ou 1.46 ha.

Ci-dessous, une localisation des Zones de stockage du chantier conduite (ZSCC) potentielles permettra de limiter l'impact du chantier de la conduite sur les habitats les plus sensibles. En fonction des besoins (jusqu'à 16 zones de stockage) les ZSCC pourront être identifiées par piquetage avant le début du chantier.

Projet de rehabilitation du refuge Wallon-Marcadau



Carte de localisation de la zone de chantier conduite



Carte 3 : Carte de localisation des zones de chantier liées à la conduite. (AGERINSAS)

3.2.3.2 Terrassement

La conduite sera posée par barres de 6 mètres, pour chaque tronçon de l'aval vers l'amont. Chaque tronçon sera réalisé selon le phasage suivant :

- Déblai avec la pelle araignée en deux temps :
 - o terre végétale en surface, maintenue en l'état et déposée d'un côté de la tranchée,
 - o déblai et/ou déroctage sur 80 cm de profondeur, et dépôt de l'autre côté de la tranchée ;
- Pose de la barre de 6 m par deux ouvriers, au fond de la tranchée ;
- Soudure au tronçon précédent ;
- Remblai avec les matériaux de déblai, en repositionnant la couche de terre végétale comme à l'état initial.
- Dans le cas d'un déroctage de surface, il conviendra de prévoir un affaiblissement du rocher à l'aide d'outil tel qu'une disqueuse ou tronçonne à pierre enfin de maximiser l'efficacité du brise roche et d'en diminuer le temps d'utilisation.
- Dans le cas d'un passage aérien au niveau des passerelles, la passerelle sera démontée en partie ou en totalité, la conduite déposée et la passerelle remontée sur ses appuis voire des appuis rehaussés de 10 centimètres dans le cas de la passerelle aval. Les abords de la passerelle seront repavés sur chaque berge afin de protéger la conduite affleurante.
- Aux abords du gave de Batans et du refuge, 3 ouvrages de vidange surmontés d'un regard jusqu'au terrain naturel seront disposés. Dans le cas de l'ouvrage de vidange situé dans la zone humide, une conduite annexe enterrée manuellement, permettra la vidange jusque dans le gave de Batans.

Une attention particulière sera faite afin de préserver toujours une faible pente dans la canalisation entre 2 ouvrages de vidange, même si les 80 cm de profondeur ne sont pas respectés.

3.2.3.3 Electro-soudage des barres de PE

Les barres de 6 mètres et les différents raccords seront assemblés par électro-soudage impliquant la nécessité d'une alimentation électrique autonome mobile (groupe électrogène) et la production de déchets liés à la coupe, le nettoyage et au grattage des zones d'assemblage. L'opération de soudage est réalisée à l'aide d'un automate de soudage type Friamat. La procédure de l'opération de soudage demande un certain savoir-faire et un outillage spécifique. Une dizaine de minutes sera nécessaire pour chaque soudure (nous comptons près de 500 soudures). La traçabilité de chaque soudure sera possible. En cours d'installation, l'essai en pression de tronçon de longueur défini pourra être demandé à l'entreprise.



Figure 20 : Procédure de mise en œuvre des raccords électrosoudables de sécurité Frialen

3.3 Installation de la picocentrale

3.3.1 Le local technique

Le local technique du bloc turbine sera situé à l'est du refuge.

Les dimensions au sol de ce local technique dépendent de la puissance de la turbine choisie. IREM préconise les dimensions suivantes pour un groupe turbine de 15 kW : 3,5 m x 3,5 m.

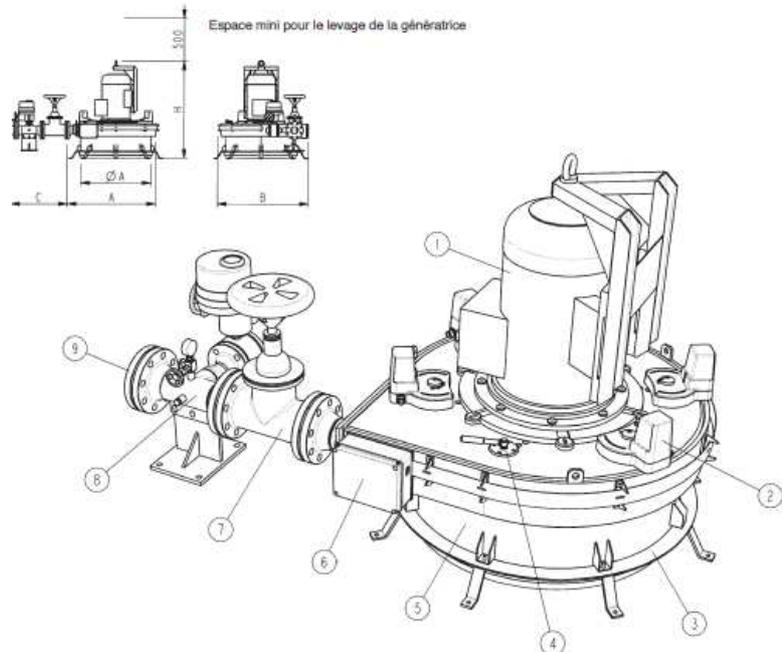
Un espace minimum de 50 cm situé au-dessus du groupe turbine/génératrice est préconisé pour le levage de la génératrice. Ainsi, la hauteur minimale du local préconisée par le constructeur de la dalle au plafond est de 1,6 mètre en comptant un canal de fuite sous dalle d'une profondeur minimale de 80 cm.

Le local technique contient :

- le groupe turbine,
- le tableau électrique,
- les boîtiers de régulation associés avec des résistances ballast,
- un dispositif permettant le levage de la turbine fixé au plafond,
- le canal de fuite situé sous le niveau du sol.

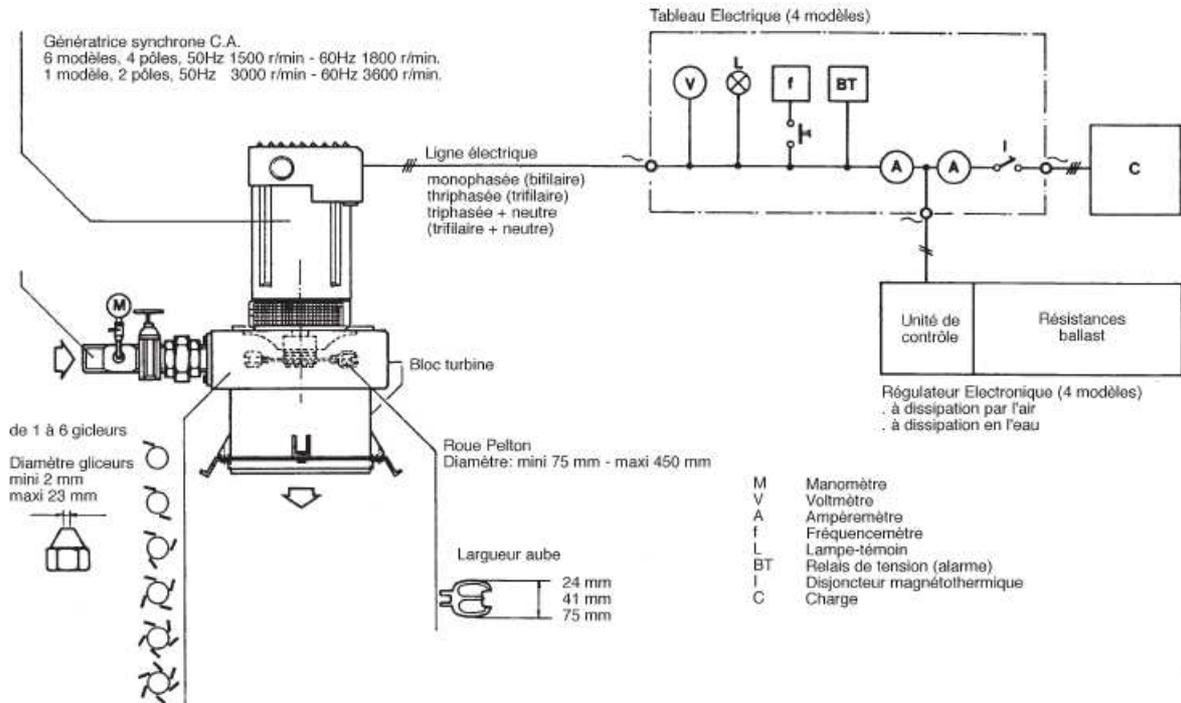
3.3.2 Groupe turbine

Le choix du groupe turbine se porte sur les turbines Ecowatt Hydro d'IREM série TPS041. Il en existe à 7 kW et à 15 kW. Les caractéristiques du groupe turbine sont détaillées en annexes.



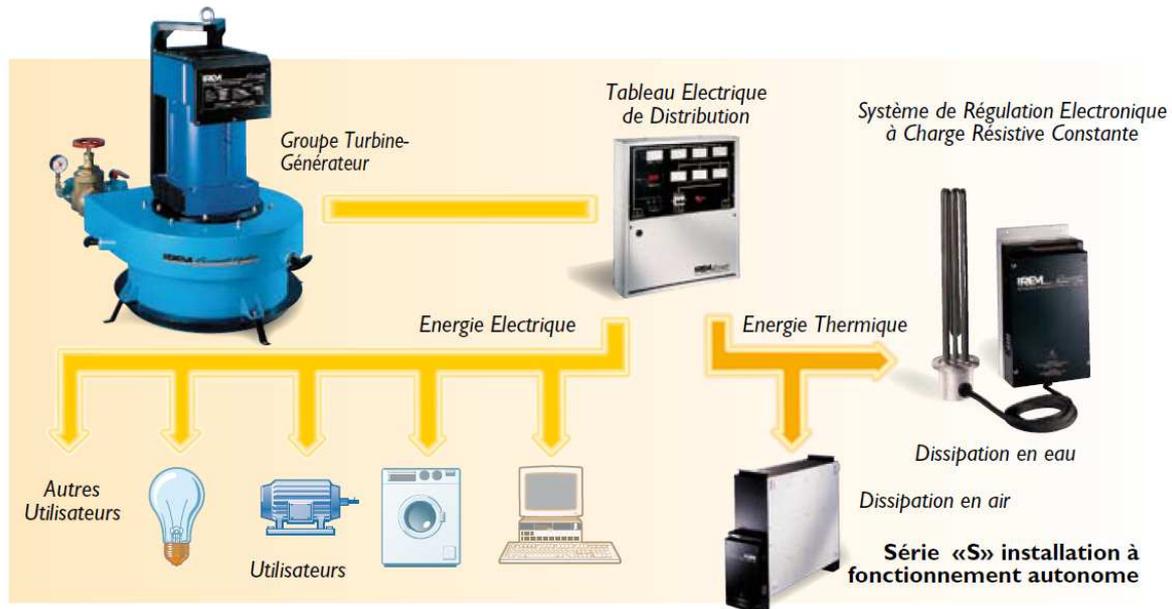
1. Génératrice
2. Réglage du débit équipé d'actionneur
3. Anneau d'ancrage
4. Réglage manuel du débit
5. Distributeur
6. Boîtier de connexion (fourni en présence de 4 ou plus vannes automatiques de réglage)
7. Clapet général (manuel ou bien équipé d'actionneur)
8. Clapet de by-pass, sur demande (manuel ou bien équipé d'actionneur)
9. Flasque de raccordement à la conduite

Microcentrales hydroélectriques Ecowatt Hydro série TPS avec génératrice synchrone et turbine Pelton



Concernant la maintenance de la turbine, tous les lubrifiants utilisés devront être de type alimentaire afin de ne pas polluer avant consommation ou restitution au milieu naturel.

3.3.3 Caractéristique de la connexion électrique



L'installation fonctionnera en mode de régulation automatique à puissance constante. Le groupe turbine-générateur transforme l'énergie hydraulique en énergie électrique de manière constante, ininterrompue, indépendamment des exigences des utilisateurs électriques.

3.3.3.1 Tableau électrique

Le tableau électrique se compose d'un petit coffre suspendu en tôle d'acier, qui contient les différentes composantes. Il est constitué de voltmètre, fréquence-mètre digital, ampèremètre indiquant le courant total distribué par la génératrice et le courant absorbé par les usagers.

Les protections du tableau sont constituées d'un disjoncteur magnéto-thermique qui protège la génératrice contre les éventuels courts-circuits sur la ligne des usagers, et de relais électronique de tension, qui active deux avertisseurs (sonore et visuel) dans le cas de variations de tension dépassant les limites préfixées.

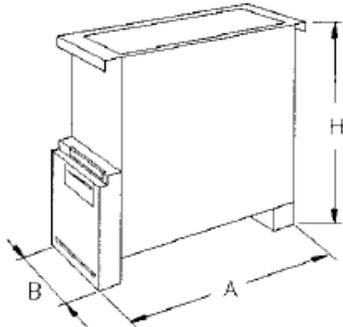
Les borniers sont nécessaires pour le branchement des conducteurs de la génératrice, de la ligne des usagers et du régulateur électronique. L'isolation et les dimensions des bornes sont adaptées aux tensions et aux sections des conducteurs employés d'habitude.

3.3.3.2 Système de dissipation énergétique

Une régulation du système de production sera nécessaire afin de maintenir la tension et la fréquence constantes, étant donné que l'énergie produite par la turbine sera toujours constante. Ce groupe travaille toujours à plein régime et le régulateur veille à dissiper, au moyen de résistances ballast, l'énergie produite par la microcentrale et non utilisée par les usagers. La dissipation de l'énergie en surplus a lieu par l'air et par l'eau, au moyen d'éléments dispersifs largement dimensionnés, qui sont automatiquement branchés ou débranchés par l'unité électronique de contrôle du régulateur.

- Dissipation par l'air à l'intérieur du refuge

Le système de dissipation par l'air proposé est composé d'une caisse contenant une résistance pour une dissipation avec une ventilation naturelle couplée avec un système de régulation électronique à micro-processeur et contrôleur de puissance. La puissance totale du dispositif est de 2 kW.



A	69 cm
B	22,5 cm
H	62,5 cm
Volume	0,097 m ³
Poids	22 kg



Photo 1 : Dispositif de dissipation par air RMP2000/A

- Dissipation par l'eau via des ballons d'eau de stockage

Le système de dissipation par l'eau est composé d'un boîtier de régulation électronique à micro-processeur et contrôleur de puissance associé à des résistances ballast de 2 à 5 kW. Ces résistances seront associées à 2 ballons de 1000 litres

peuvent être soit plongées dans les eaux du canal de fuite, soit dans un ballon d'eau.



Photo 2 : Exemple de système de dissipation par l'eau associé à un ballon d'eau type RMP2000/B

- Dissipation par l'eau dans l'eau turbinée

Au cas où les dispositifs de dissipation à l'intérieur du refuge sont non fonctionnels, 3 résistances ballast de 5 kW chacune seront plongées dans les eaux du canal de fuite et permettront de délester l'énergie produite et non utilisée dans les eaux turbinées à la température initiale de 2,5°C. Le réchauffement de l'eau sera maximum de 0,6°C.



Photo 3 : Exemple de système de dissipation par l'eau associé au canal de fuite type RMP2000/B

3.3.3.3 Caractéristiques du courant produit

La microcentrale fournit de l'énergie électrique à la tension standard de 230 V monophasé et/ou 230/400 V triphasé, et aux fréquences de 50 Hz et 60 Hz. Le rendement global de la microcentrale (rapport entre la puissance électrique produite et la puissance hydraulique utilisable) est variable en fonction de la puissance débitée et des conditions d'emploi. De toute façon, ce rendement sera toujours très élevé par rapport aux puissances en jeu.

3.4 Alimentation en eau potable

L'alimentation du refuge en eau potable se fera au moyen d'une canalisation PEHD. Elle se fera en by-pass avant turbinage, à l'aide d'un « T ». Ce « T » sera suivi d'un régulateur de pression et d'une vanne de commande. Lors des périodes de forts prélèvements d'eau sur la conduite, la conduite peut se vider et la turbine peut fonctionner au ralenti. La turbine autorégulera ainsi sa production.

3.5 L'ouvrage de fuite

L'eau amenée par la conduite se déversera dans un canal de fuite situé sous le groupe turbine génératrice via la turbine ou via la vanne de by-pass. Le fond du canal sera situé à 1,3 mètre sous le niveau d'entrée de la conduite dans la turbine. Ce canal sera de section rectangulaire au niveau du local technique d'une largeur de 80 cm. Ensuite, il prendra la forme d'un tuyau annelé extérieur/lisse intérieur de 300 mm de diamètre intérieur ($D_{ext} = 350$ mm). La conduite aura une longueur de 66 mètres et sera enterrée sous 80 centimètres.

La conduite aura une pente globale de 15%. La vitesse de l'eau dans la conduite sera de 1,62 m/s maximum avec une lame d'eau de 2 cm environ pour un débit de 4 l/s. Le jet produit à la sortie de l'eau aura une longueur de chute maximale de 1,3 m (Equations de Donnelly et Blaisdell, 1965). Cette distance est inférieure à la largeur en plan de la berge rive gauche où sera prévu le rejet de la conduite de fuite. Ainsi, le rejet ruissellera dans le pierrier situé à cet endroit avant de se jeter dans la fosse de réception de l'actuelle cascade.

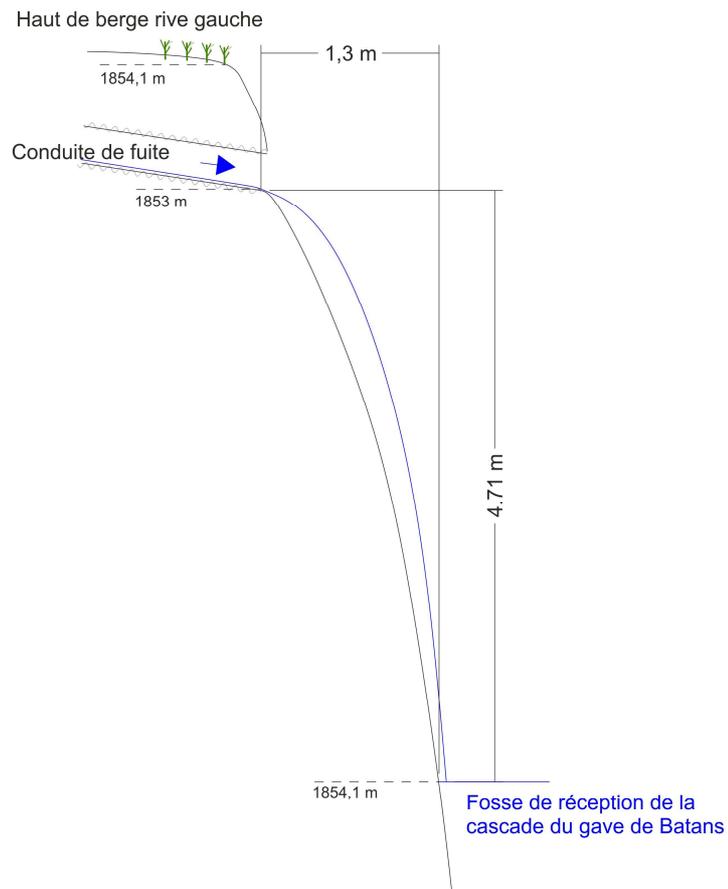


Figure 21 : Coupe de la sortie aérienne de la conduite de fuite au droit de la berge rive gauche à l'aval de la cascade



Figure 22 : Vue aérienne du refuge et des tracés enterrés des conduites d'amenée et de fuite

3.6 Planning prévisionnel

La durée des travaux sur le tracé de la conduite et la pico-centrale est estimée à 2,5 mois à condition que les travaux puissent être réalisés sans interruption (liés à l'organisation du chantier et/ou les périodes d'intervention préconisées). Les travaux de terrassement pourront idéalement se réaliser entre septembre et novembre lorsque la fréquentation des chemins de randonnées sera faible, à une période où le couvert végétal est latent.

3.7 Chiffrage estimatif

Phase	Description	PU	Quantité	Unité	Coût HT en Euros
Installation du chantier	Héliportage	1500	16	h	24 000 €
	Transfert pelles mécaniques	600	3	Unité	1 800 €
	Démontage/remontage pelles araignés	6200	3	Unité	18 600 €
	Divers	10000	1	U	10 000 €
Sous total					54 400 €
Prise d'eau	Pelle-araignée	120	50	H	6 000 €
	Pose (main d'œuvre)	34	100	H	3 400 €
	Drains	20	15	m	300 €
	Membrane	10	12	m2	120 €
	Géotextile	5	12	m2	60 €
	Filet coco	10	12	m2	120 €
	Regard	400	1	Pièce	400 €
	Robinet vanne à opercule souple	216.59	1	Pièce	217 €
Ventouse triple fonction	273	1	Pièce	273 €	
Sous total					10 890 €
Canalisation et AEP	Pelle-araignée	120	800	H	96 000 €
	Derocage de surface	3000	2	Unité	6 000 €
	Derocage de profondeur	2000	5	Unité	10 000 €
	Tube PE100 RC DE110 PN10	5.16	198	M	1 022 €
	Tube PE100 RC DE110 PN16	7.51	198	M	1 487 €
	Tube PE100 RC DE110 PN25	11.44	2124	M	24 299 €
	Manchons PE100 DE110 PN16	11.22	66	Pièce	741 €
	Manchons PE100 DE110 PN25	14.09	354	Pièce	4 988 €
	Tube calorifuge DE110 PN25 SDR7.4 Gaine DE200	182.1	24	M	4 370 €
	Manchette thermo pour jonction calorifugée	71	4	Pièce	284 €
	Bride libre DE110 perçage DN110 GN25 Acier	35.2	1	Pièce	35 €
	Té de raccordement DN80	62.04	6	Pièce	372 €

	Robinet à soupape à volant DN80 PN40	885	5	Pièce	4 425 €
	Régulateur de pression	449	4	Pièce	1 796 €
	Soupape de décharge canalisée	2494	1	Pièce	2 494 €
	Ventouse triple fonction	273	1	Pièce	273 €
	Regard de visite	50	4	Pièce	200 €
	Pose (main d'œuvre)	34	1000	H	34 000 €
	Surcoût réfection passerelle			Forfait	2 000 €
	Surcoût finition abords passerelle	2000	2	Unité	4 000 €
	Surcoût finition chemin de randonnée	20	680	M	13 600 €
	PEHD DN25 PN16	100	1	M	100 €
	Surcoût ouvrage de vidange zone humide	60	20	M	1 200 €
Sous total					213 685 €
Turbine	IREM TPS41 15 kW	19 120	1	Pièce	19120
	Pose (main d'œuvre)	34	50	H	1700
Sous total					20 820 €
Ouvrage de fuite	Pelle-araignée	120	100	H	12 000 €
	Tuyau annelés/lisses diamètre 300 mm	25	70	M	1 750 €
	Pose (main d'œuvre)	34	100	H	3 400 €
	Surcoût finition			Forfait	2 000 €
Sous total					19 150 €
Connections électriques	CT 15	2030	1	Pièce	2030
	Connections			Forfait	1 000 €
Sous total					3 030 €
Dispositif de régulation	RMP5/B (eau) 5 kW	1480	6	Pièce	8880
	RMP2/B (eau) 2 kW	880	2	Pièce	1760
Sous total					10 640 €
TOTAL HT					332 615 €

Ces dépenses sont exprimées en euros hors taxes et hors maîtrise d'œuvre.

Il convient de rappeler que l'estimation des coûts faite précédemment est associée à la réalisation du système d'adduction d'eau.

4 Synthèse

Le projet issu de cette étude prévoit une production hydroélectrique couplée à la conduite d'adduction AEP et qui sera mise en œuvre sous la forme d'un groupe turbine produisant au maximum 10 kW. Cette picocentrale utilise l'énergie d'un débit de 4 l/s sur une hauteur de chute de 330 m. La production annuelle moyenne a été estimée à 87,6 MWh.

Cette énergie produite en continu constituera la source d'énergie principale du refuge. Toute énergie produite devant être consommée, il est prévu des organes de dissipation d'énergie sous forme de chauffage à air installés dans le refuge, et à eau soit stockés dans des ballons d'eau, soit dissipés dans l'eau de rejet. Une conduite de fuite enterrée permettra de rejeter l'eau turbinée dans le gave situé en contre-bas du refuge.

Le projet de centrale hydroélectrique fait l'objet de l'évaluation environnementale conformément à l'article R. 122-2 du code de l'environnement. Le projet est en conséquence présenté en détail dans ce rapport.

Le bon usage de la picocentrale nécessite la réalisation d'une formation auprès de gardiens du refuge afin de leur permettre de savoir faire face aux problèmes et aux calages qu'il convient de réaliser afin d'optimiser la production en fonction du débit prélevé.

Un entretien annuel de l'installation sera nécessaire.

ANNEXES

Principe de mise hors gel de la conduite (source Note de Synthèse, diplôme universitaire de gardien de refuge, Maud Subit, 2009)

- Ne pas donner la possibilité à l'eau de stagner dans le réseau et de geler, même après vidange.
- Lutter contre la stagnation d'eau afin de limiter les risques de gel.
- Pouvoir intervenir en cas de problèmes.
- Avoir une voie de secours en cas de gel ou autre obstruction.
- Limiter les risques de gel en positionnant les canalisations dans une partie du sol qui ne gèle pas (ou moins que la surface).
- Vider intégralement les réseaux de circulation d'eau et d'effluents pour qu'il n'y ait aucun risque de gel dans les canalisations en période de fermeture du refuge.
- Permettre aussi des travaux d'entretien ou de réparation en cas de besoin.
- Poursuivre l'activité professionnelle même en cas de problème de gel en étant capable de fournir aux clients de l'eau potable et de préparer les repas (avec de l'eau potable).
- Pallier à un souci d'approvisionnement d'eau lié au gel (ou autre).
- Conserver une pression constante de l'eau aux robinets.
- Assurer la meilleure isolation possible.
- Permettre le traitement des effluents du refuge en toute saison afin de limiter au maximum la pollution des bassins versant, sources et torrents en aval.

Calcul des pertes de charges

Les pertes de charge linéaires correspondent aux pertes d'énergie par frottement du fluide sur les parois de la conduite. Elles sont calculées par la formule suivante :

$$\Delta H_{\text{linéaire}} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Avec : λ : coefficient de perte de charge (sans dimension)
 L : longueur de la conduite (en m)
 D : diamètre intérieur de la conduite (en m)
 V : vitesse d'écoulement (en m/s)
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$: accélération de la pesanteur

Le coefficient de pertes de charge λ est défini par la formule de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left[\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right]$$

Avec : k : rugosité de la conduite (en m). Pour le PE, on prendre égal à 0,006.
 D : diamètre intérieur de la conduite (en m)
 Re : nombre de Reynolds, caractérisant la turbulence du fluide (sans dimension)

Les pertes de charge ont été ainsi calculées en suivant sur la base d'un débit de 4 l/s et d'une canalisation de 2550 mètres linéaires en fonction du diamètre de la conduite de type PN25 SDR7,4².

La lecture du tableau précédant nous permet de choisir le type de conduite PE100 à utiliser suivant le PN choisi selon la chute finale et la puissance produite que l'on souhaite atteindre. Nous nous orienterons vers une conduite d'un diamètre extérieur de 110. Ainsi, les caractéristiques d'un tuyau d'un tel diamètre seront les suivantes suivant le PN choisi :

Tableau 3 : Caractéristiques principales du constructeur de la conduite choisie en SDR 7,4

Diamètre extérieur (mm)	75	90	110	125	140	160
Epaisseur de tuyau (mm)	10,13	12,16	14,86	16,89	18,92	21,62
Diamètre intérieur (mm)	55	66	80	91	10,2	11,7
Vitesse (m/s)	1.70	1.18	0.79	0.61	0.49	0.37
Pertes de charge linéaire (mCE)	129.15	53.52	20.36	11.02	6.40	3.37
Pertes de charge singulières (mCE) ³	12.92	5.35	2.04	1.10	0.64	0.34
Puissance hydraulique disponible (kW)	7.4	10.6	12.1	12.5	12.7	12.8

⇒ Les pertes de charges peuvent atteindre presque 50 % de la chute totale, avec notamment un diamètre extérieur inférieur à 55 mm (soit un diamètre extérieur de 75 mm).

² SDR = « Standard Dimension Ratio » = D_{ext}/e : rapport entre le diamètre extérieur de la conduite et son épaisseur. Plus la valeur du SDR est faible, plus la conduite est épaisse et donc résistante.

³ Il est courant d'appliquer une majoration de 10 % pour un réseau présentant un nombre de raccords importants.

⇒ Une limite à 10 % de la chute nous permet de choisir une canalisation en PE 110 qui permettrait d'atteindre une puissance hydraulique de 12,1 kW. Cette puissance sera ensuite diminuée du rendement du groupe turbine.

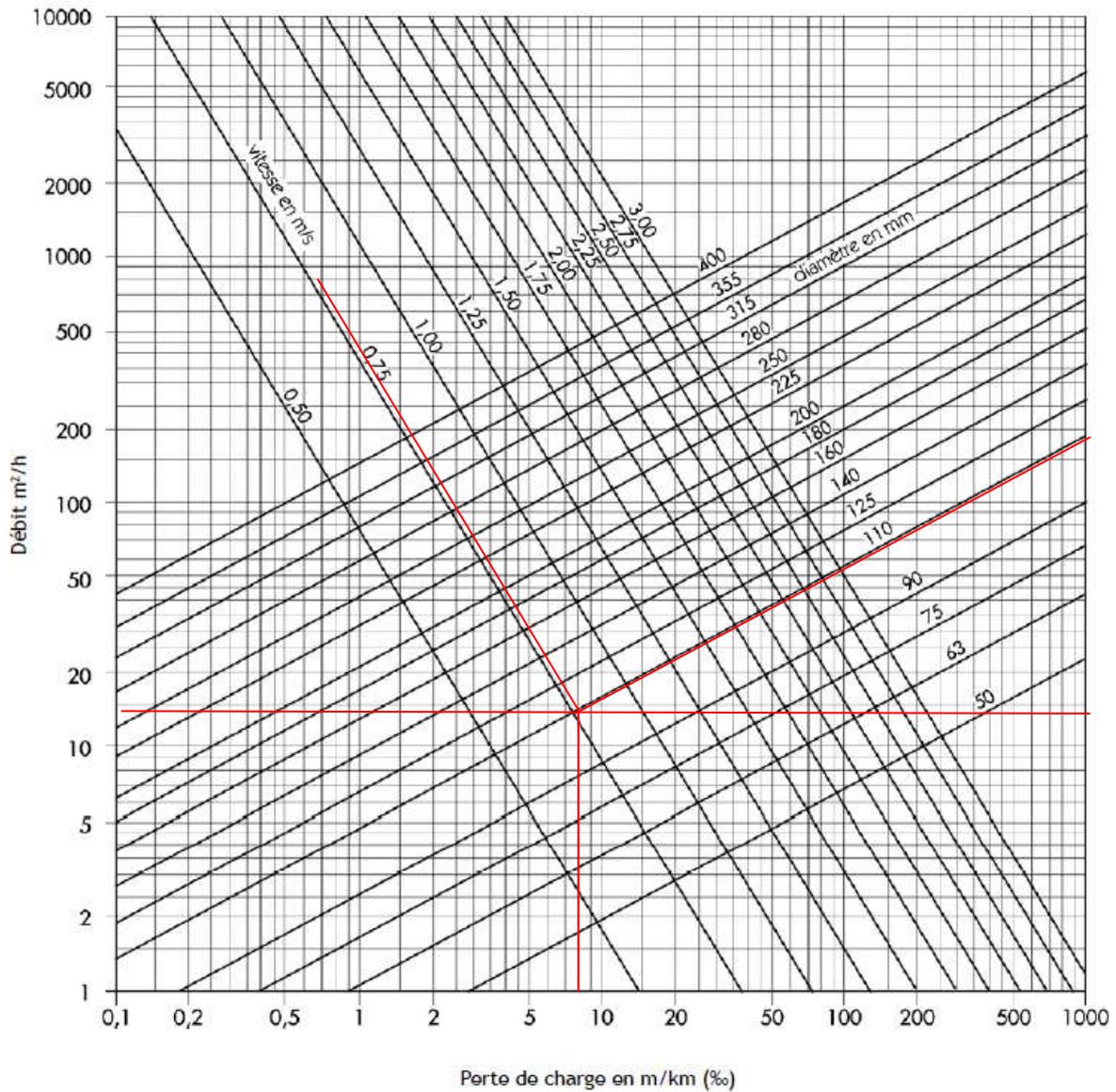


Figure 23 : Abaque de pertes de charge pour canalisations PE100 PN25 SDR7,4 (45 l/s = 14 m³/h)

Résistance aux coups de bélier

Les qualités intrinsèques du polyéthylène en font sans doute le meilleur matériau vis à vis des coups de bélier.

La faible rigidité du matériau permet au tube en PE 100 d'amortir l'amplitude et la durée du coup de bélier. Ainsi, l'utilisation du PE 100, en lieu et place des matériaux traditionnels, permet de réduire jusqu'à 4 fois l'application des coups de bélier. Cela permet de ne pas avoir à surdimensionner le réseau polyéthylène ainsi que tous les autres composants du réseau (vannes, clapets).

La très bonne capacité du PE à résister aux chocs et aux surpressions vient compléter l'avantage précédent.

La surpression créée par un coup de bélier dépend :

- de la variation de vitesse,
- du temps de fermeture,
- de la célérité de l'onde,
- du matériau.

Elle se calcule à partir des formules d'Allievi et Michaud :

$$\Delta H_{max} = \pm a \frac{\Delta V}{g} \text{ (Allievi)}$$

$$\Delta H(t) = \frac{2L\Delta V}{gt} \text{ (Michaud)}$$

a : Célérité de l'onde en m.s⁻¹

L : Longueur de la conduite en m

ΔV : Variation de vitesse

ΔH : Variation de pression maximale

t : Temps de fermeture efficace.

La célérité est définie par les éléments suivants :

- C : vitesse du son dans le liquide à 15°C (1420 m/s environ)
- ε : module d'élasticité du fluide (2,05.10⁹ N/m²),
- E : module d'élasticité du PE100 (0,9.10⁸ kfg/m²)
- D_m : diamètre moyen du tube D en mètre,
- e : épaisseur de la conduite en m,

Elle est calculée de la manière suivante : $c = C \sqrt{1 + \frac{\epsilon}{E} \cdot \frac{D_m}{e}}$

Ainsi, la célérité de l'onde dans un tube PE 100 d'un diamètre extérieur de 110 mm en SDR 7 est de 355,17 m/s.

Ainsi, la surpression maximale se forme quand le temps de fermeture est inférieur ou égal à la durée de la phase (T=2L/c) soit 13,5 s. Elle sera égale à 53,6 mètres.

Ainsi, le temps de fermeture devra être supérieur à 13,5 s afin d'éviter les coups de bélier dommageable pour l'installation. A titre d'exemple, un temps de fermeture de 5 minutes provoquera une surpression de 2,4 mètres dans la canalisation.

Détail des groupes turbine Pelton et génératrice à axe vertical des microcentrales hydroélectriques Ecowatt Hydro IREM, série TPS avec génératrice synchrone et turbine à flux traversant

Roue Pelton

Les aubes de la roue sont en acier inoxydable à résistance mécanique élevée et obtenues par micro fusion, ce qui permet une précision élevée et un bon degré de finition. Les aubes sont fixées au disque par soudure TIG sans addition de matériel.

La dimension des aubes dépend de la dimension des gicleurs. Dans la plupart des cas, l'arbre de la turbine s'emboîte directement sur l'arbre de la génératrice : cela signifie que le disque de la roue est emboîté directement sur l'arbre de la génératrice par un moyeu à pince. Le disque et le moyeu sont en acier inoxydable. Parfois, l'emboîtement de l'arbre de la turbine avec l'arbre de la génératrice est fait au moyen d'un multiplicateur du numéro de tours, qui est composé d'une couple de poulies à courroie de transmission crantée. Toutes les pièces en rotation sont équilibrées dynamiquement.

Bloc turbine

Le bloc est normalement constitué d'un composé soudé en tôle d'acier. La partie supérieure du cylindre intérieur, les deux brides et le cylindre extérieur forment le distributeur, c'est-à-dire la chambre d'adduction de l'eau en pression aux gicleurs.

Le cylindre intérieur a aussi la fonction de recevoir et canaliser l'eau dans le puits d'écoulement. En plus, au moyen de supports soudés sur la surface extérieure du cylindre même, il fixe et soutient le groupe turbine-génératrice. Un anneau d'accouplement, à noyer dans le soubassement et fourni avec l'installation, est utilisé pour fixer le bloc-turbine. Les gicleurs sont moulés dans une matière plastique de longue durée et sont au nombre maxi de 6. Les distributeurs pour les modèles TPS041 et TPS075 sont équipés respectivement de 3 ou 4 vannes piston pour la régulation manuelle du débit.

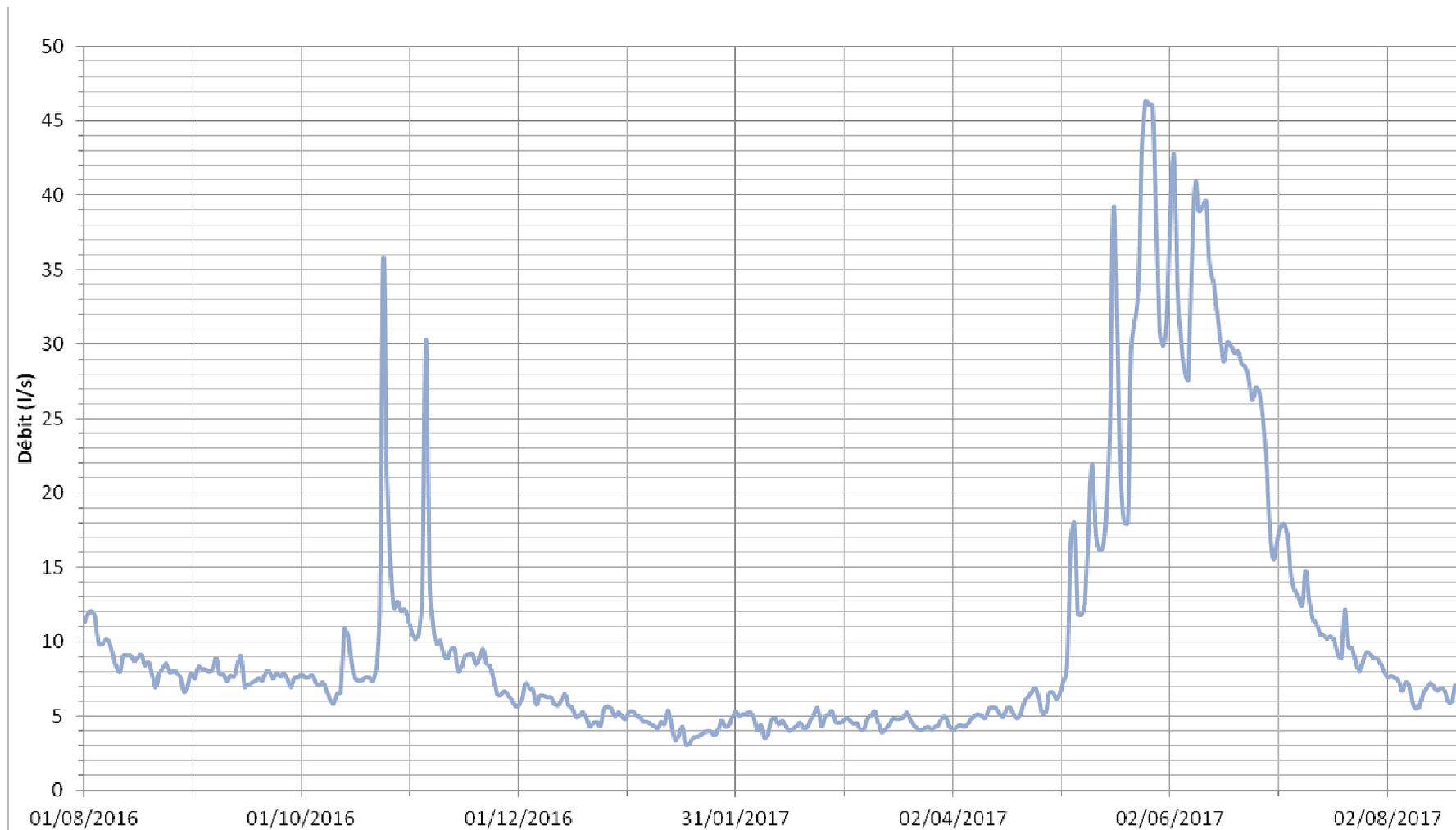
Groupe d'alimentation

Sa fonction est de connecter la conduite forcée au bloc-turbine. Il se compose du tuyau d'introduction, sur lequel est installée la vanne pour la commande de la microcentrale, la prise pour le manomètre, le manomètre et la prise latérale de l'eau en pression (by-pass).

Génératrice

On emploie des génératrices synchrones triphasées, d'où l'on peut prélever de l'énergie monophasée. L'inducteur tournant est à 4 pôles saillants. Ces génératrices se caractérisent par l'absence de balais. Le courant d'excitation est fourni par une génératrice auxiliaire dont le rotor (induit) est monté sur le même arbre que la génératrice principale. La régulation de l'excitation est de type voltampèremétrique par système "Compound". Pour le modèle TPS024, on emploie une génératrice synchrone monophasée avec inducteur tournant à 2 pôles saillants. Les roulements à billes de tous les génératrices, étant du type "étanche", ne demandent pas de lubrification. La génératrice est séparée de la turbine par un bouclier spécial qui la préserve de tout contact avec l'eau.

Débits moyens journaliers mesurés à la source Marcadau du 28 juillet 2016 au 23 août 2017



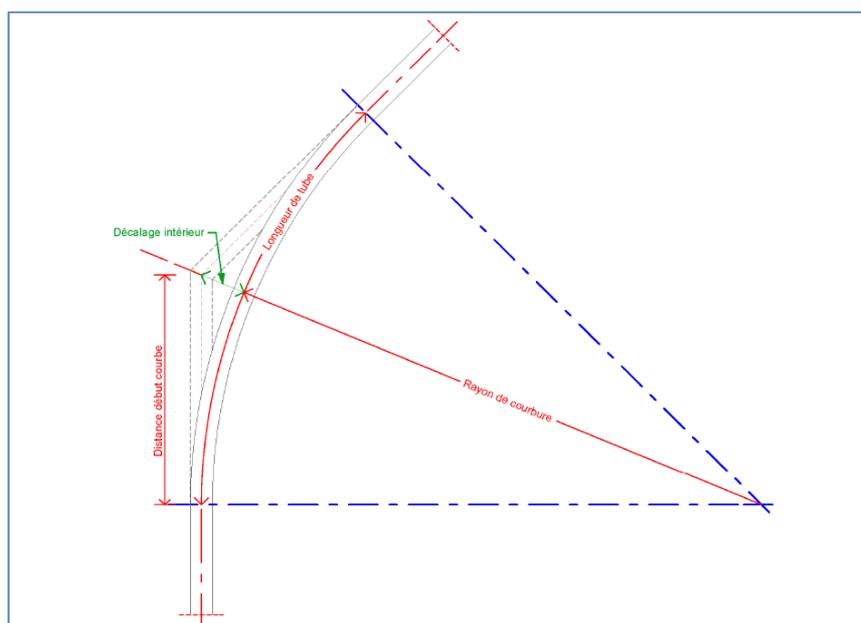
Note de calculs sur les rayons de courbure du PE100 SDR7,4/PN25 Ø 110 mm

Fait à Bordeaux, le 22 septembre 2017 par M. Sébastien DELARUE (Aliaxis). Ces informations sont données à titre indicatif. Elles ne sauraient engager la responsabilité d'Aliaxis et toute décision technique basée sur ces résultats doit impérativement être validée par le maître d'œuvre.

La présente note de calculs est destinée à déterminer l'encombrement nécessaire à la suppression des coudes par l'utilisation du rayon de courbure du tube PEHD en fonction de la température de pose.

Elle a également pour but de déterminer la longueur de tube nécessaire à l'établissement des courbes ainsi que le décalage entre l'angle du coude initial et l'axe du tube courbé afin d'estimer l'emprise de la courbe.

Le rayon de courbure minimum dépend du diamètre du tube, de l'épaisseur de la paroi du tube, donc du SDR, et de la température de mise en œuvre.



Utilisation de ce schéma :

Cette représentation graphique a pour but d'estimer, à partir d'un plan initial, l'encombrement d'une courbe par rapport à un angle, en reportant le décalage intérieur et la distance de début de courbe suivants :

Diamètre Extérieur Tube	Ø 110 mm			
Type de PEHD	PE100			
	SDR7,4 / PN25			
Température :	0°C	10°C	20°C	30°C
Coefficient de Courbure :	50	33	25	18
Rayon de Courbure Mini :	5,5 m	3,63 m	2,75 m	1,98 m
Coude 90°				
Distance début courbe :	5,5 m	3,63 m	2,75 m	1,98 m
Longueur de tube :	8,64 m	5,7 m	4,32 m	3,11 m
Décalage intérieur :	2,28 m	1,5 m	1,14 m	0,82 m
Coude 45°				
Distance début courbe :	2,28 m	1,5 m	1,14 m	0,82 m
Longueur de tube :	4,32 m	2,85 m	2,16 m	1,56 m
Décalage intérieur :	0,45 m	0,3 m	0,23 m	0,16 m
Coude 30°				
Distance début courbe :	1,47 m	0,97 m	0,74 m	0,53 m
Longueur de tube :	2,88 m	1,9 m	1,44 m	1,04 m
Décalage intérieur :	0,19 m	0,13 m	0,1 m	0,07 m