

HYDRO PAAALO



DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION POUR LA CONSTRUCTION D'UNE CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE SUR LE COURS D'EAU DE WE PAAALO

PIECE V : CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES ET JUSTIFICATIONS TECHNIQUES LES CONCERNANT



Ingénierie

ISL Ingénierie - Lyon
Le Discover
84 boulevard Vivier Merle
69485 Lyon Cedex 3 - FRANCE
Tél. : +33 4 27 11 85 00
Fax : +33 4 72 34 60 99

www.isl.fr

1 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES

1.1 DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES

L'eau est captée par une **prise d'eau tyrolienne** (prise par en-dessous) en béton située à l'altitude 538,8 m NGNC, directement dans le lit de la rivière We Paalo. La vasque naturelle située juste au-dessus sert de bassin amont pour stabiliser l'écoulement. Le débit réservé est restitué immédiatement à l'aval de la prise d'eau par l'intermédiaire d'un orifice percé au fond de la fosse de captage. Cet orifice permettra également l'évacuation en continu des graviers passant à travers la grille (ouverture entre les barreaux égale à 2 cm). Le débit passant dans l'orifice du débit réservé est prioritaire par rapport aux débits turbiné, le débit entonné pour l'alimentation de la centrale étant alimenté par un seuil qui n'est déversant que si le débit à la prise d'eau est supérieur au débit réservé.

Le débit turbiné s'écoule au-dessus d'un seuil latéral, qui débouche dans un canal convergent en béton armé de 2,6 m de long. Ce canal fait la transition entre la fosse de captage et la **conduite d'amenée** qui mène au bassin de mise en charge. La conduite est réalisée en acier, fait 22 m de long, et fonctionne à surface libre.

Le **bassin de mise en charge** a pour but d'empêcher l'entraînement d'air dans la conduite forcée lors du turbinage. Dans le cas de We Paalo, il a également un rôle de dessableur des grains grossiers. Il est équipé d'une vanne de purge permettant la vidange et le nettoyage des matériaux accumulés. Le bassin de mise en charge étant situé en bordure du lit de la rivière, il est protégé jusqu'à la crue centennale (décennale en cas de vidange du bassin). Au débit d'équipement, la cote du plan d'eau dans le bassin de mise en charge est à 535,30 m NGNC.

L'eau est ensuite entonnée dans une **conduite forcée** ($D = 0,5$ m) de 1680 m de long. Elle est équipée à l'amont d'une vanne de survitesse qui se ferme automatiquement en cas de dépression soudaine dans la conduite. Sur la première centaine de mètres après le bassin de mise en charge, la conduite suit à niveau la gorge formée par la rivière. Elle débouche ensuite sur le plateau, où elle est enterrée jusqu'à l'usine. Les frottements avec le sol suffisent à reprendre les efforts mis en jeu sauf en présence de coudes, qui doivent être fixés sur des massifs d'ancrage en béton.

L'**usine** est située en rive gauche de la rivière, juste en amont du pont routier. Elle est dimensionnée pour résister à une crue centennale. L'usine est équipée d'une turbine Pelton 2 jets à axe horizontal, qui restitue l'eau à la rivière à la cote 1,5 m NGNC par l'intermédiaire d'un canal de restitution en béton de 15 m de long. La puissance installée est de 3 MW. Le bâtiment usine n'est composé que d'un seul étage, découpé en quatre zones :

- Le local turbine, qui comprend le groupe turbo-alternateur, la vanne de pied (type robinet sphérique), le dispositif de vidange, les auxiliaires, etc,
- Le local commande qui contient l'automate, les bureaux et tous les instruments de commande,
- Le local des cellules Haute Tension,
- Poste électrique 33 / 5,5 kV en plein air, comprenant les 2 transformateurs principal et auxiliaire.

Un pont roulant est installé dans le local turbine pour permettre la manutention des équipements hydromécaniques.

Une piste d'accès de 2,2 km de long, démarre de la route existante 770 m à l'ouest de l'usine, et permet l'accès jusqu'à la cote 195 m NGNC. Les matériaux nécessaires aux travaux de construction de la prise d'eau et de la conduite forcée seront hélicoportés.

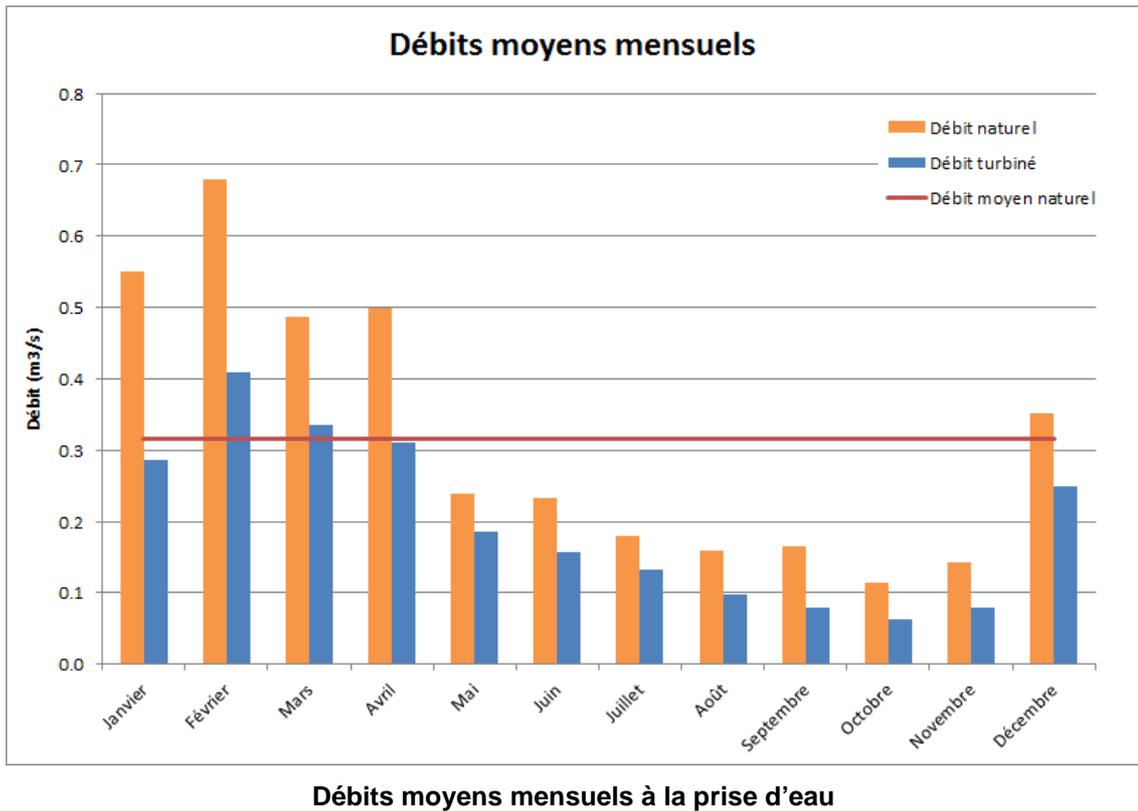
Les éléments ci-dessous détaillent les caractéristiques techniques de la centrale hydroélectrique faisant l'objet de la présente demande.

1.2 DEBIT MAXIMAL DERIVE

D'après l'étude hydrologie réalisée par ISL, le débit moyen du cours d'eau We Paalo à la prise d'eau est estimé à $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ et le débit médian à $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit d'équipement de la centrale hydroélectrique est pris égal à 2,3 fois le débit moyen de la rivière We Paalo à la prise d'eau, soit **$0,71 \text{ m}^3/\text{s}$** .

La courbe des débits classés de We Paalo permet d'établir que le débit d'équipement est dépassé 8% du temps environ soit environ 30 jours par an.

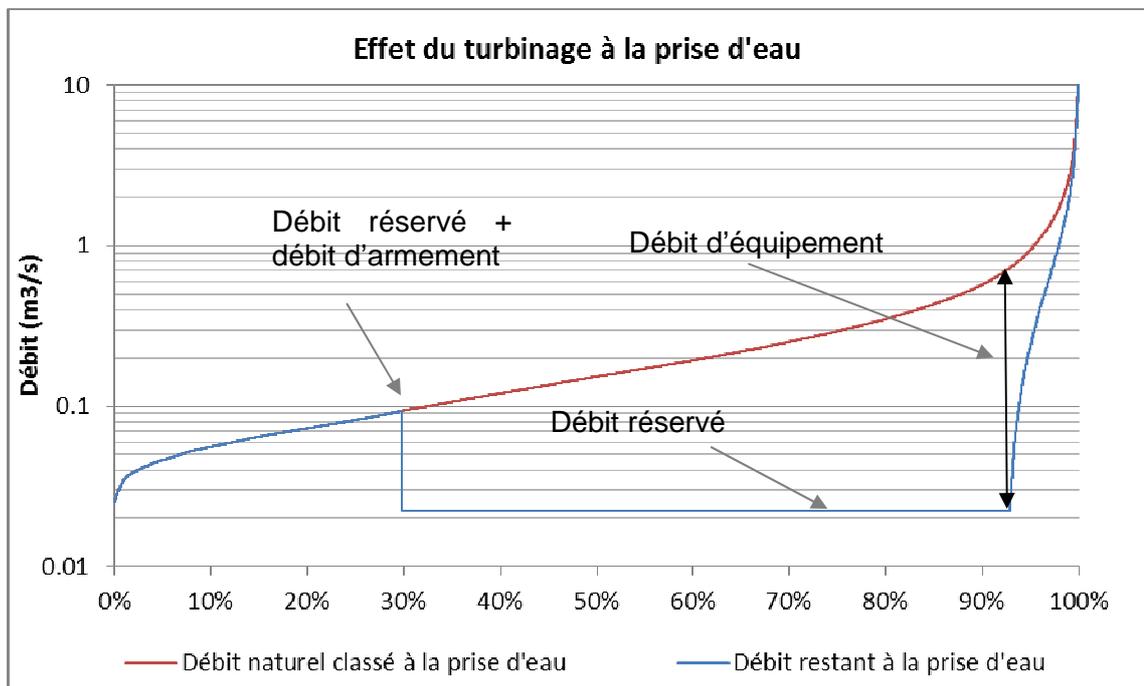


1.3 DEBIT MINIMUM ET DEBITS RESTITUES DANS LE COURS D'EAU

La délibération n°118 du 7 avril 2016 relative au régime d'autorisation des usines hydrauliques utilisant l'énergie des cours d'eau et des lacs impose que « le débit maintenu dans la rivière [...] ne pourra pas être inférieur au débit minimal fixé par arrêté du Gouvernement de Nouvelle-Calédonie qui décrira les modalités de son calcul. » A ce jour l'arrêté fixant les modalités de calcul du débit minimum restitué n'est pas publié.

Il est proposé de maintenir un débit réservé au droit de la prise d'eau égal à 50% de la valeur du débit caractéristique d'étiage de période de retour 2 ans (DCE2), soit **22,5 l/s**.

La figure suivante présente l'impact du turbinage sur le débit à la prise d'eau :

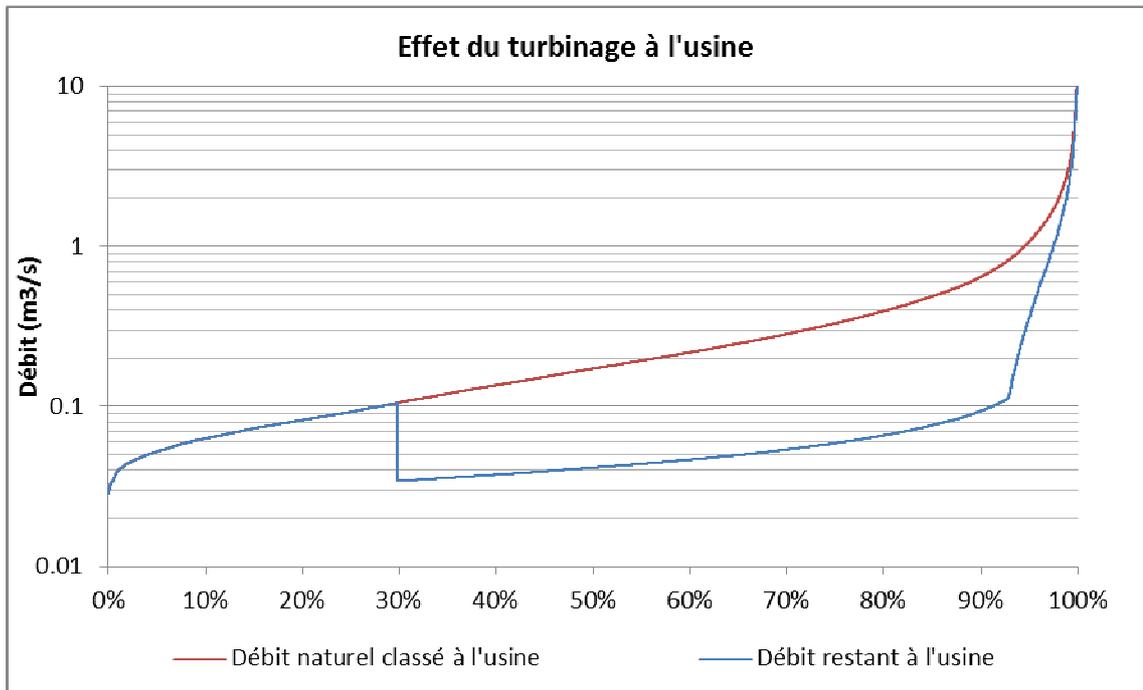


Courbe des débits classés naturels et restitués à la prise d'eau

La centrale turbine les débits supérieurs à 0,0935 m³/s, correspondant à la somme du débit réservé et du débit d'armement¹, soit environ 70% du temps. A noter que les périodes de faibles débits (y compris étiage) ne sont pas turbinées, la centrale étant en arrêt pour les périodes correspondant aux débits faibles atteints 30% de l'année. Pour ces débits l'intégralité du débit naturel est restitué au cours d'eau de la Paalo. Lorsque le débit dans la Paalo dépasse le débit d'équipement de la turbine, le surplus est restitué à l'aval de la prise d'eau : le débit dans le tronçon court-circuité est alors supérieur au débit réservé. Ce mode de fonctionnement est observé 8% du temps (période des plus forts apports).

¹ Contrairement à ce que la terminologie de ce terme semblerait impliquer, ce débit minimum est également nécessaire au maintien en fonctionnement correct de la turbine et pas uniquement à son démarrage. Aussi lorsque les débits entonnés retombent en dessous du seuil, la turbine est arrêtée.

Ci-après l'impact du turbinage à l'amont immédiat de l'usine (avant rejet). Du fait des apports intermédiaires sur le tronçon court-circuité le débit reste supérieur au débit minimum la plupart du temps.

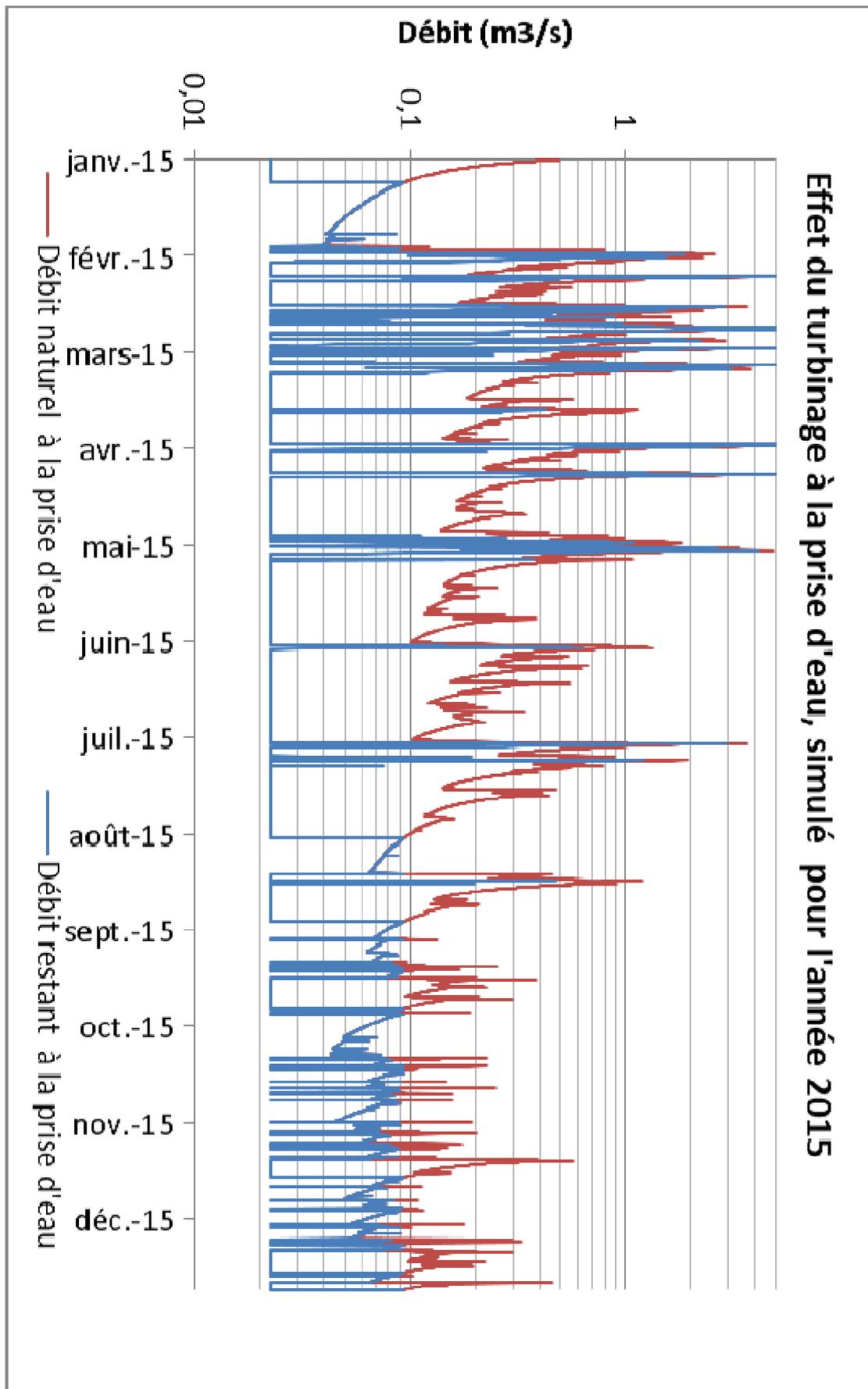


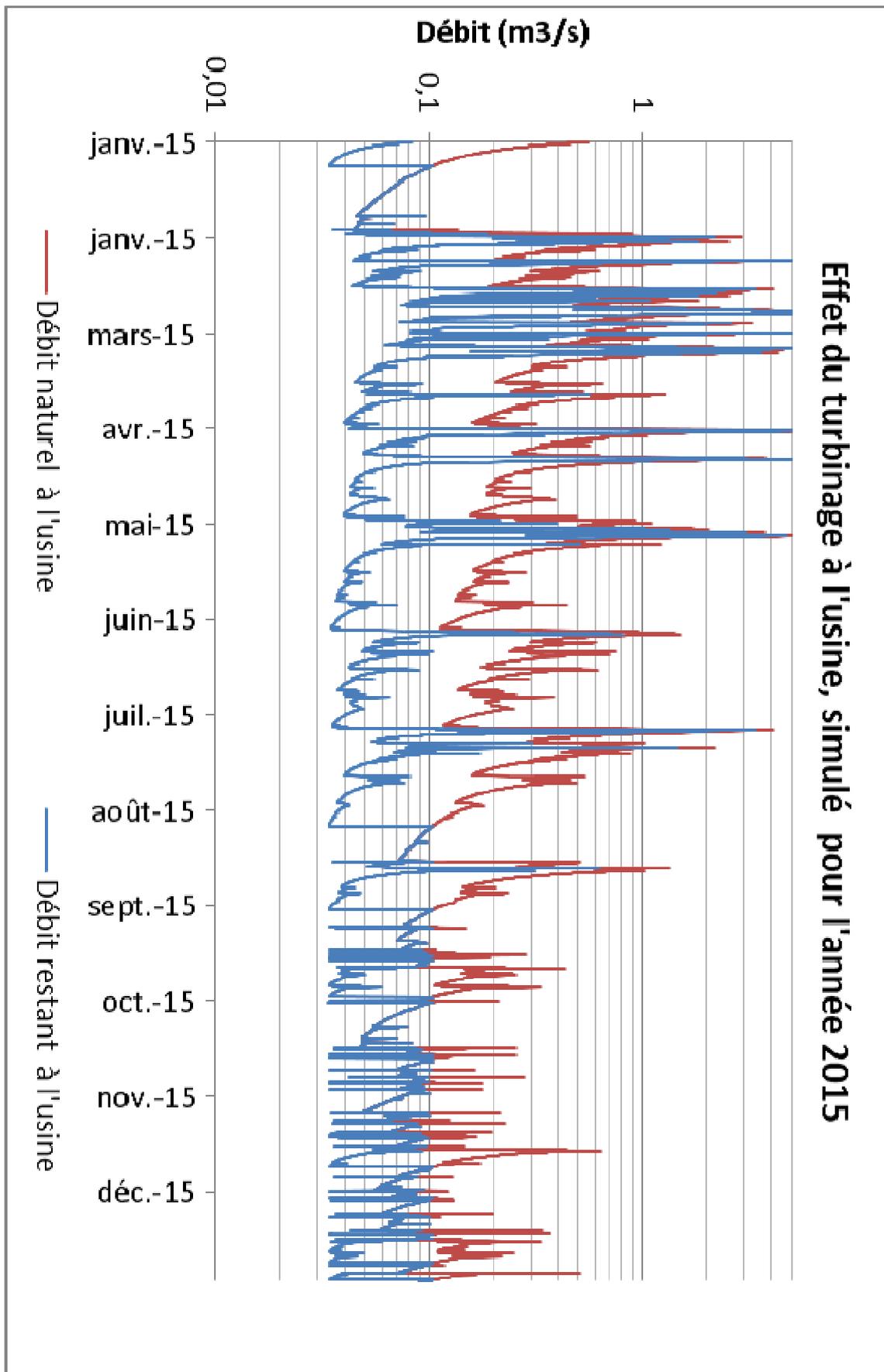
Courbe des débits classés et des débits turbinables à l'usine

A l'aval de l'usine l'intégralité du débit est restitué en permanence : l'aménagement n'ayant ni retenue ni dérivation vers un autre bassin versant le débit dans la Paalo est inchangé à l'aval de l'usine.

Les graphiques ci-après montrent l'impact de l'aménagement à l'aval de la prise d'eau et à l'amont de l'usine, simulé pour l'année 2015. Les graphiques pour les années 2011 à 2015² sont disponibles dans l'annexe (Etude hydrologique).

² Période pour lesquels les débits dans la Paalo ont pu être reconstitués à un pas de temps horaire.





La Paalo a un régime torrentiel, avec des fluctuations importantes à l'échelle du mois : des débits importants sur une courte durée s'alternant avec des débits plus faibles. Ces simulations illustrent le fait que le débit minimum imposé durant 62% du temps à l'aval de la prise ne l'est pas de manière continue mais de manière répartie au long de l'année, s'alternant avec des périodes de faible débit où l'intégralité du débit est restitué et des périodes pluvieuses où le débit d'équipement est dépassé et le débit à l'aval de la prise est alors plus important.

La durée maximale continue durant laquelle le débit minimum est imposé est de l'ordre du mois. A noter que pour chaque année simulée, le débit dans la Paalo a dépassé plusieurs fois 5 m³/s. Pour ces débits le volume prélevé pour le fonctionnement de la centrale est inférieur à 15% du débit total.

En conclusion, l'implantation d'une centrale sur la We Paalo engendre les conséquences suivantes :

- Pour les débits faibles (30% du temps), inférieurs à la somme du débit réservé et du débit d'armement, le débit de la Paalo est intégralement restitué : il n'y a pas de prélèvement.
- Pour les débits courants (62% du temps), les débits restitués à la rivière sont égaux au débit réservé ;
- Pour les débits forts (8% du temps), le débit d'équipement de la centrale est dépassé : le débit restitué est supérieur au débit minimum.
- Pour les débits de crue usuelles (crues annuelles), le débit prélevé est faible devant le débit naturel de la rivière et l'effet de la prise d'eau est peu important.
- Du fait du régime de la Paalo (alternance de périodes de débit faible et importants à l'échelle du mois), le débit réservé n'est à priori pas maintenu en continue dans le cours d'eau.

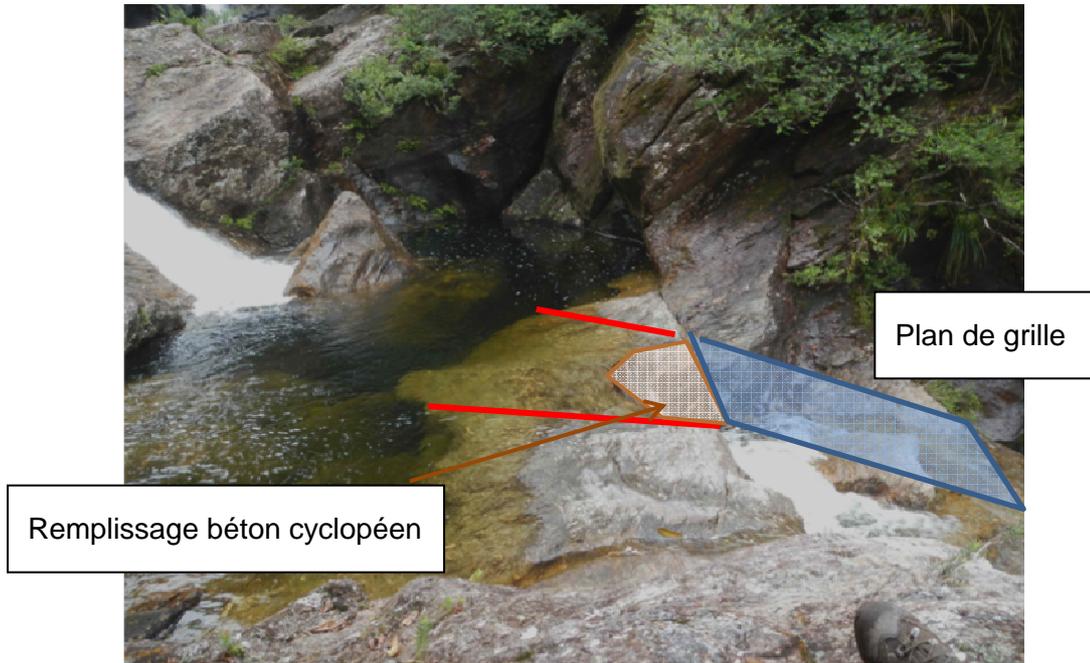
1.4 CAPACITE DE RETENUE – VOLUME STOCKABLE

La centrale sur la rivière We Paalo est une centrale au fil de l'eau, ce qui signifie que les débits turbinés sont les débits captés par la prise au moment où l'eau s'écoule au-dessus de la prise : **l'eau n'est pas stockée**, la capacité de retenue créée par la prise d'eau est nulle.

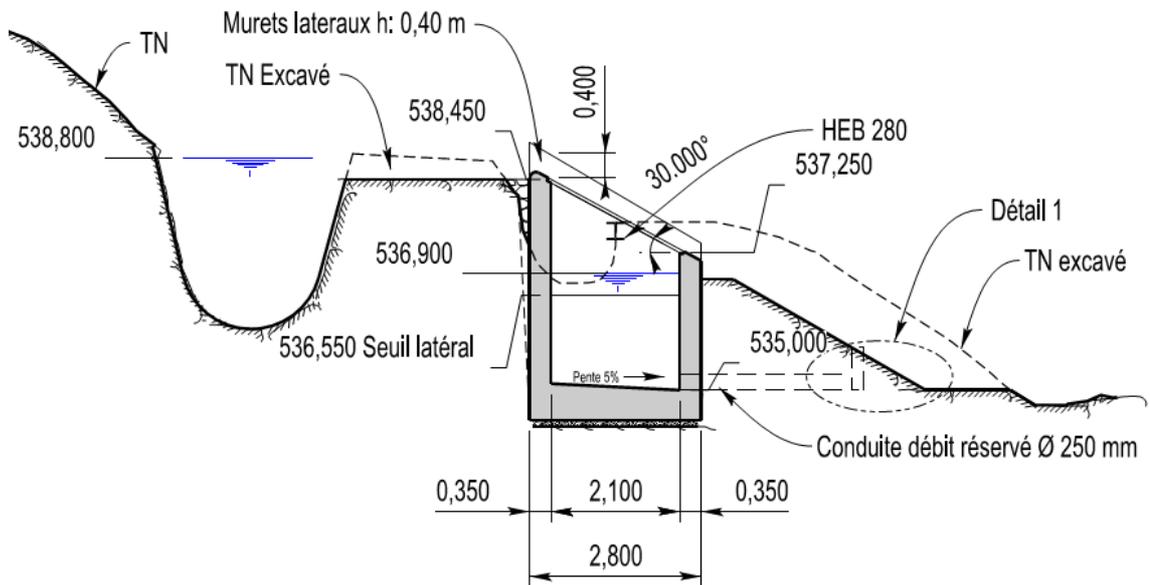
En effet, la configuration choisie d'une prise d'eau tyrolienne, ou prise par en-dessous, ne nécessite pas la réalisation d'un seuil pour surélever le niveau de la vasque.

Les prises d'eau tyroliennes comportent une grille inclinée positionnée dans le lit du cours d'eau. L'eau s'écoule au-dessus puis déverse au travers de la grille dans une fosse de captage située en-dessous.

La configuration de déversoir naturel de la vasque est conservée comme indiqué sur la photo ci-dessous ainsi que l'extrait de plan :



Emplacement de la prise d'eau



Coupe amont-aval de la fosse de captage

1.5 HAUTEUR DE CHUTE BRUTE MAXIMALE

1.5.1 COTE DE RETENUE

La lame d'eau déversante alimentant la prise d'eau tyrolienne est située à la cote **538,8 m**.

La **cote du niveau normal** de la chambre de mise en charge de la conduite forcée est définie à la cote **535,3 m**.

La cote minimale d'exploitation est 534,5 m.

1.5.2 COTE DE RESTITUTION

L'usine de We Paalo est située sur une plateforme à la cote 4 m en rive gauche de We Paalo.

Elle est équipée d'une turbine Pelton à deux jets à axe horizontal. L'axe de la turbine est situé à la cote **4,6 m**.

Un canal de restitution permet le retour de l'eau turbinée à la rivière We Paalo en amont de son embouchure avec la mer. La cote de restitution à la rivière est **1,5 m**.

1.5.3 HAUTEUR DE CHUTE

La hauteur de chute brute, considérée comme la différence d'altitude entre le niveau de l'eau à la prise d'eau et le niveau de l'eau au droit de la restitution, est égale à **537,3 m**.

La hauteur de chute nette qui tient compte des pertes de charge dans les ouvrages d'amenée et de restitution correspond, dans le cas de l'aménagement de We Paalo, à la différence entre la cote du niveau d'eau dans le bassin de mise en charge et l'axe de la turbine Pelton, diminuée des pertes de charge dues à la conduite forcée. Elle est de **498,8 m** dans le cas de We Paalo.

1.6 PUISSANCES CARACTERISTIQUES

Le potentiel hydroélectrique de tout site peut être exprimé de deux manières :

- à la fois en terme de puissance installée, puisque celle-ci détermine la capacité instantanée du site à délivrer du courant sur le réseau,
- mais également en terme d'énergie annuellement produite, qui dépend de la puissance installée, mais également de différents paramètres physiques du site tels que l'hydrologie, les contraintes techniques et réglementaires, etc.

Les principaux paramètres caractérisant l'aménagement sont résumés ci-dessous :

	We Paalo
Débit d'équipement	0,71 m ³ /s
Débit d'armement	0,071 m ³ /s
Débit réservé	0,0225 m ³ /s
Hauteur de chute brute maximale	537,3 m
Charge brute à l'axe de la turbine	530,7 m
Hauteur de chute nette au débit d'équipement	498,8 m
Turbine	Pelton 2 jets, axe horizontal
Rendement turbine	82 à 90,5%
Rendement alternateur + transformateur	95%

Paramètres de l'aménagement

1.6.1 PUISSANCE MAXIMALE BRUTE

La puissance maximale brute (PMB) est définie comme suit :

$$PMB[W] = \rho_e \cdot g \cdot H_b \cdot Q_e$$

Avec

ρ_e = densité de l'eau [kg/m³]

H_b = chute brute [m]

Q_e = débit d'équipement [m³/s]

La PMB dépend uniquement des « données naturelles » du site, à savoir la chute brute exploitable H_b et le débit total turbiné Q_e , appelé débit d'équipement.

Avec un débit maximum dérivable de 0,71 m³/s sous une hauteur de chute brute de 537,3 m, **la Puissance Maximale Brute de l'installation est égale à 3696 kW.**

1.6.2 PUISSANCE MAXIMALE DISPONIBLE

La Puissance Maximale disponible correspond à la puissance électrique maximale mesurée aux bornes de l'installation, en sortie d'usine.

$$PMD[W] = \rho_e \cdot g \cdot \eta_{turbine} \cdot \eta_{generateur} \cdot H_n \cdot Q_e$$

Avec

ρ_e = densité de l'eau [kg/m³]

$\eta_{turbine}$ = rendement turbine au débit d'équipement

$\eta_{generateur}$ = rendement générateur

H_n = chute nette au débit d'équipement [m]

Q_e = débit d'équipement [m³/s]

Compte-tenu du rendement maximum de la turbine au débit d'équipement, du rendement du générateur et des pertes de charge, **la Puissance Maximale Disponible est de 2991 kW.**

1.6.3 PUISSANCE NORMALE DISPONIBLE

La Puissance Normale Disponible tient compte de l'hydraulicité du cours d'eau et correspond à la puissance moyenne en fonction de la variation annuelle du débit.

$$PND[W] = \rho_e \cdot g \cdot \eta_{turbine} \cdot \eta_{generateur} \cdot H_n \cdot Q_m$$

Avec

ρ_e = densité de l'eau [kg/m³]

$\eta_{turbine}$ = rendement turbine

$\eta_{generateur}$ = rendement générateur

H_n = chute nette [m]

Q_m = débit moyen turbiné [m³/s]

Compte-tenu du rendement normal des appareils d'utilisation, du débit moyen turbinable et des pertes de charges, **la Puissance Normale Disponible est égale à 559 kW.**

1.7 PRODUCTION D'ENERGIE ESCOMPTEE

Le productible annuel est déterminé en tenant compte de l'ensemble des paramètres physiques du site (courbe des débits classés, chute brute exploitable), des contraintes environnementales (débit réservé) et des caractéristiques de dimensionnement des structures et des équipements de l'aménagement (pertes de charge, adaptation des machines aux variations de débit, colline de rendement de la turbine, etc.).

Le productible annuel moyen de la centrale de We Paalo est calculé à partir de la chronique des débits horaires simulés sur la période 2011-2015 (voir rapport 15F-042-RL-2) suivant cette formule :

$$E [GWh/an] = \frac{\rho_e \cdot g}{10^{-9}} \cdot \sum_{i=1}^{8760} \eta_{turbineQ_i} \cdot \eta_{generateur} \cdot H_{nQ_i} \cdot Q_i \cdot I$$

Avec

ρ_e = densité de l'eau [kg/m³]

$\eta_{turbineQ_i}$ = rendement turbine au débit Q_i

$\eta_{generateur}$ = rendement générateur

H_{nQ_i} = chute nette au débit Q_i [m] = 530,7 - ΔH_i

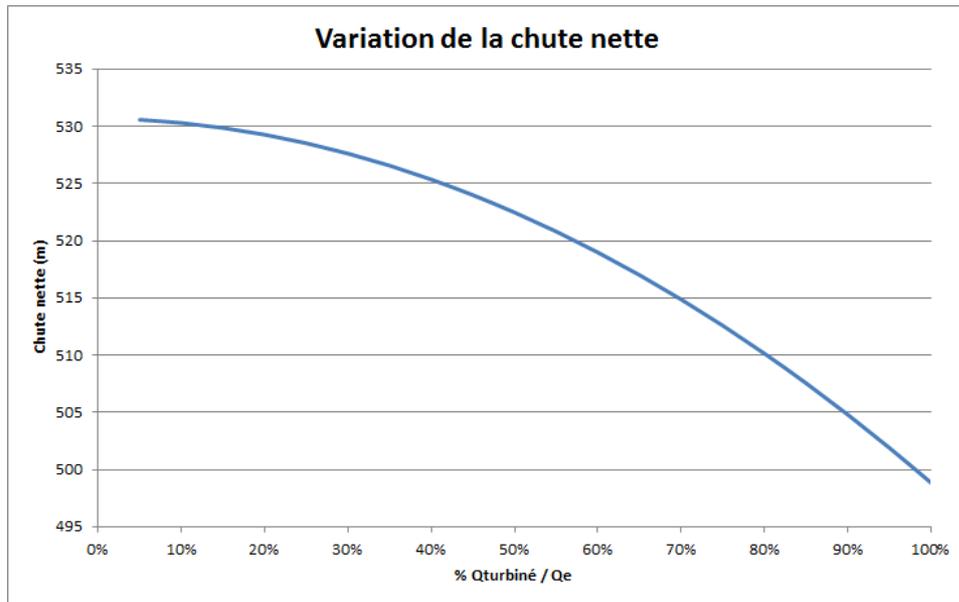
Q_i = débit horaire turbiné [m³/s]

I = taux de disponibilité 95% (arrêt pour maintenance 5% du temps)

Les pertes de charge sont la somme des pertes de charge régulières et singulières. Elles varient en fonction du carré du débit turbiné :

$$\Delta H_i = k \cdot Q_i^2$$

La figure suivante présente la variation de la chute nette en fonction du débit turbiné :



Variation de la chute nette en fonction du débit turbiné

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

	We Paolo
Débit d'équipement	0,71 m ³ /s
Hauteur de chute brute maximale	537,3 m
Charge brute à l'axe de la turbine	530,7 m
Hauteur de chute nette au débit d'équipement	500,7 m
Puissance maximum brute (PMB)	3696 kW
Puissance Maximale Disponible	2991 kW
Puissance Normale Disponible	559 kW
Productible annuel	7,081 GWh
Coefficient de charge	2360 h/an

Puissance et productible

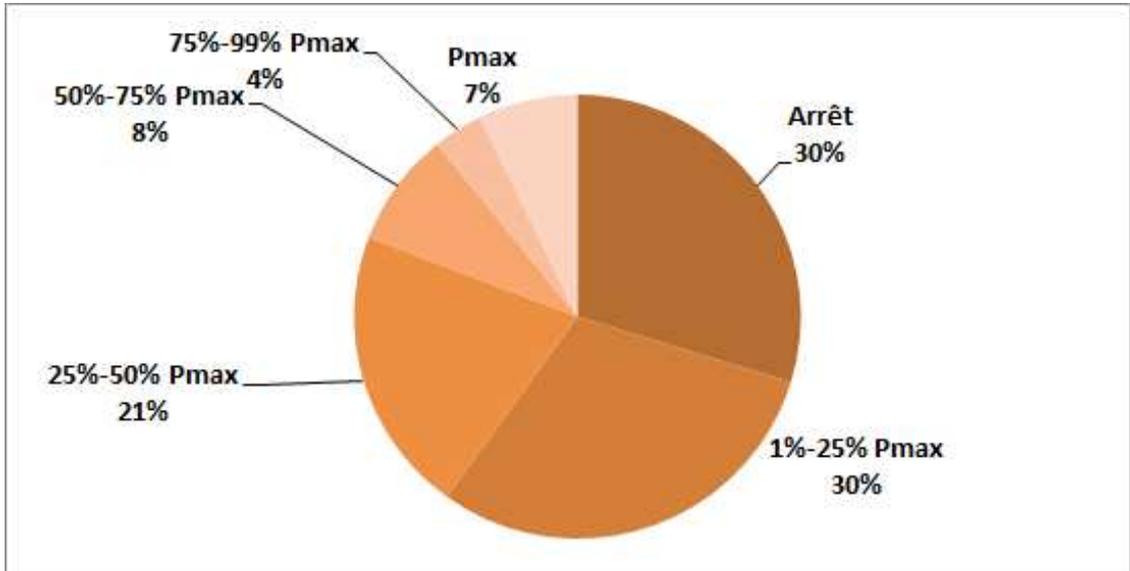
Remarques :

Les productibles annuels tiennent compte de l'arrêt pour maintenance (indisponibilité de 5%).

Le coefficient de charge exprimé en heure par année correspond au nombre d'heure équivalent pleine charge du site avec une indisponibilité de 5%.

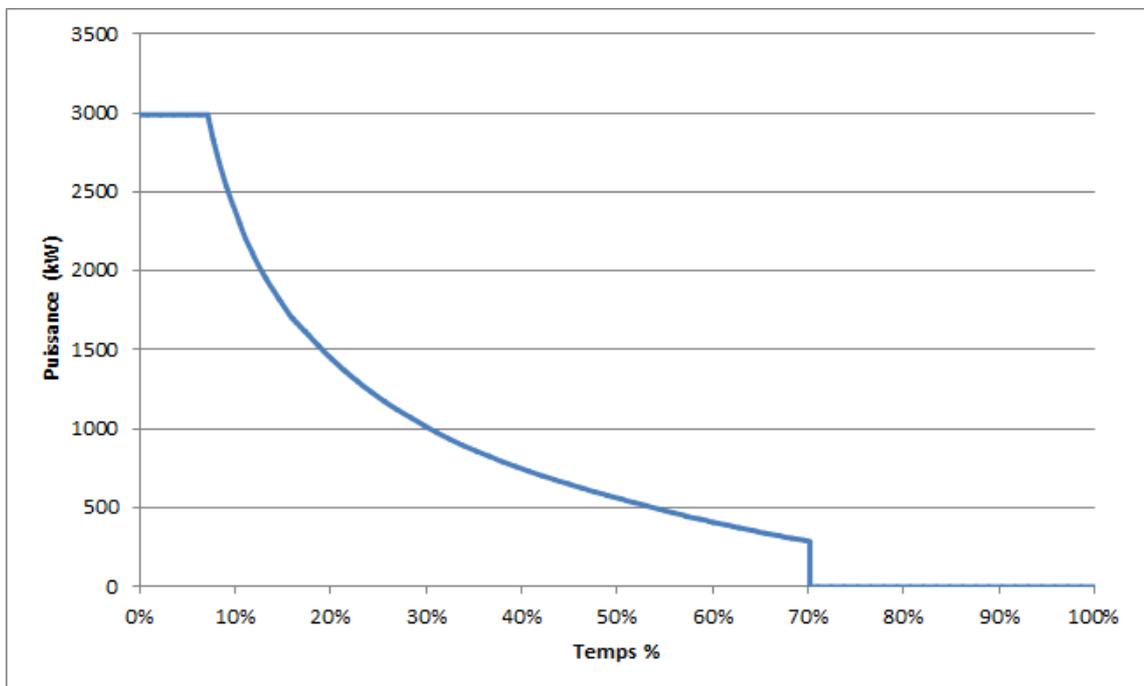
1.8 REPARTITION DE LA PUISSANCE

Le graphique suivant présente la répartition de la puissance générée par l'installation sur une année moyenne.

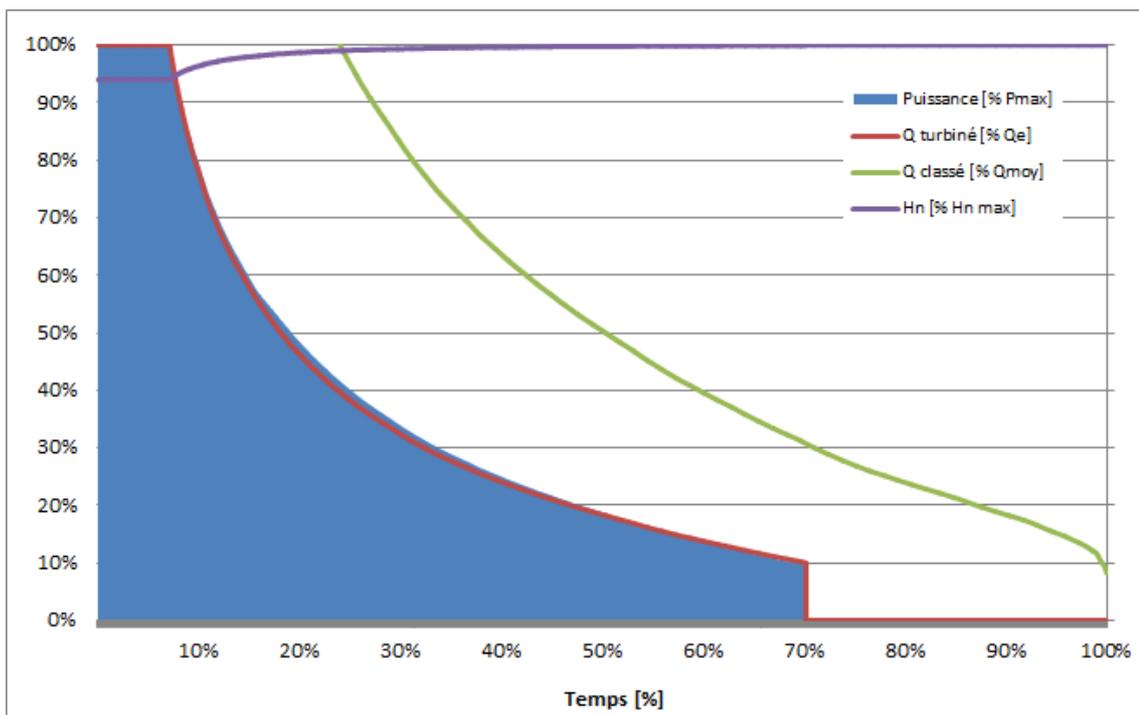


Répartition de la puissance

Les figures suivantes présentent la puissance produite en fonction du temps.



Puissance produite en fonction du temps en kW



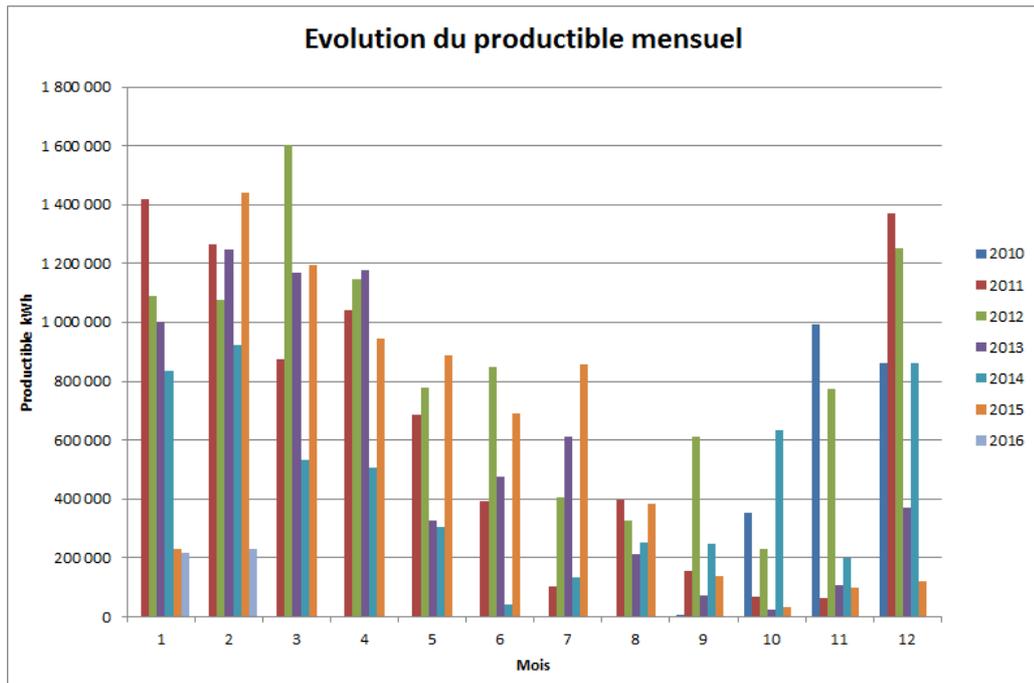
Puissance produite en fonction du temps en fonction de Pmax

1.9 VARIATION DE LA PRODUCTION

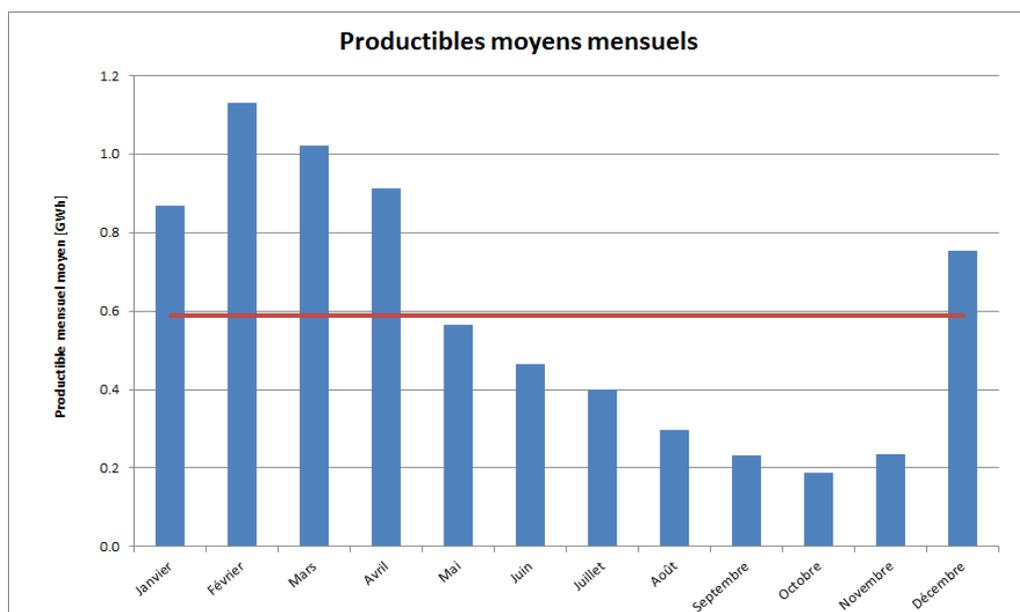
L'utilisation d'une chronique de débit plutôt que d'une courbe de débits classés pour le calcul du productible permet d'obtenir les variations de production mensuelles et annuelles sur la période étudiée.

Nota : Les années 2010 et 2016 sont incomplètes.

Les figures et tableaux suivants présentent la répartition mensuelle et annuelle de la production :



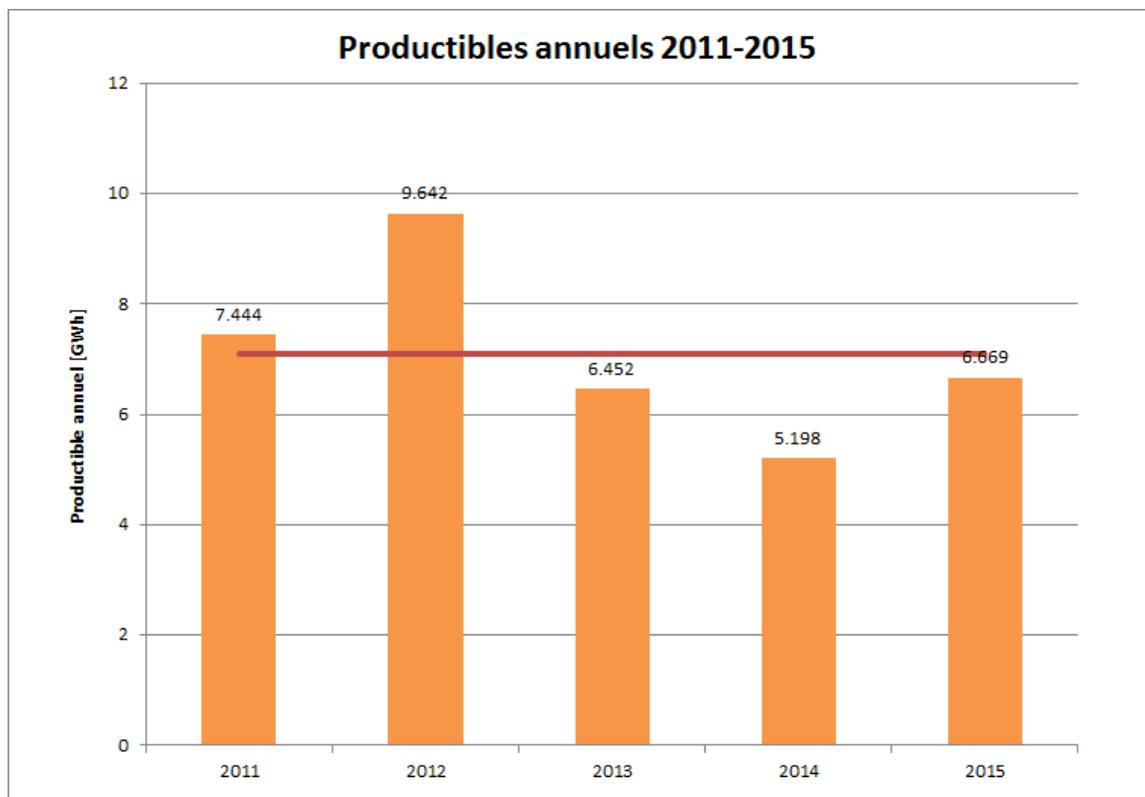
Evolution du productible mensuel entre 2010 et 2016



Répartition des productibles moyens mensuels

	Production GWh
Janvier	0,870
Février	1,131
Mars	1,021
Avril	0,915
Mai	0,567
Juin	0,465
Juillet	0,402
Août	0,298
Septembre	0,233
Octobre	0,188
Novembre	0,236
Décembre	0,755
Moyenne mensuelle	0,590
TOTAL	7,081

Productibles mensuels



Evolution des productibles annuels entre 2011 et 2015

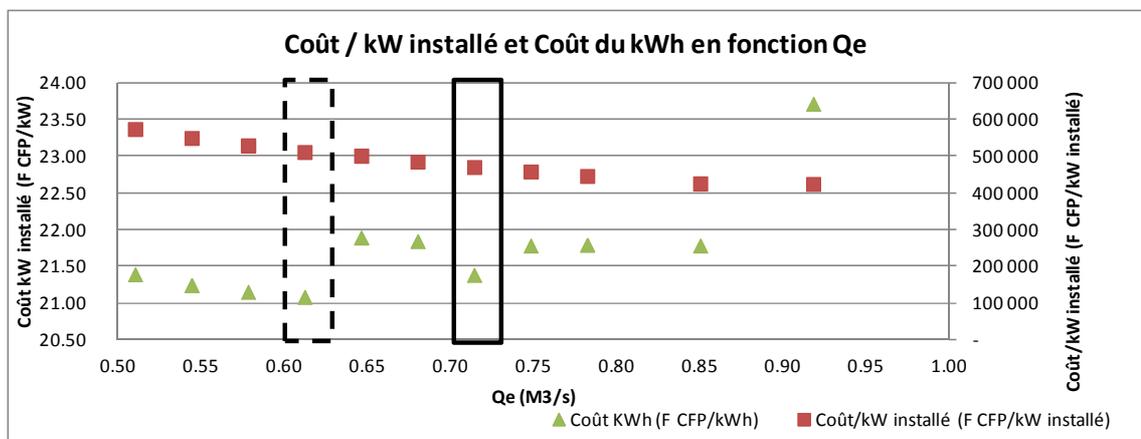
2 JUSTIFICATION TECHNIQUE DES OUVRAGES

Les paragraphes ci-dessous ont pour objet la description des caractéristiques et principes de fonctionnement des ouvrages constituant l'aménagement de We Paolo.

2.1 CHOIX DU DEBIT D'EQUIPEMENT

Lors des études d'avant-projet, une recherche du débit d'équipement optimal a été effectuée. Une étude de sensibilité basée sur les résultats de l'étude de faisabilité (productible, coûts des aménagements) a été réalisée.

Des débits d'équipement compris entre 0,51 m³/s et 0,92 m³/s du cours d'eau ont été testés.



Variation du coût total du projet ramené à la puissance installée et du coût de revient du kWh de l'aménagement en fonction du débit d'équipement choisi

L'étude de sensibilité a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Le coût des accès est indépendant du débit d'équipement.
- Les coûts de la prise d'eau et du bâtiment de l'usine dépendent faiblement du débit.
- Les coûts de réalisation de la conduite forcée subissent des variations lors des changements de diamètre cependant ceux-ci sont faibles. En effet, pour les diamètres de conduite forcée choisis (entre 0,45 et 0,6 m au maximum), les coûts de réalisation (fouilles, massifs de béton armé) sont sensiblement les mêmes, seule la quantité de fonte utilisée change.

La différence de coût entre les aménagements porte donc principalement sur le coût d'équipement, or celui-ci ne représente que 20 à 30% du coût total de l'aménagement.

Ainsi, l'ensemble des débits d'équipement donne des résultats proches. Le débit d'équipement égal à 0,71 m³/s permet un productible intéressant pour un coût de revient au kWh assez faible. Le débit d'équipement égal à 0,61 m³/s paraît également intéressant même si son coût au kW installé est plus élevé.

C'est donc le débit d'équipement de 0,71 m³/s qui a été choisi en tant que débit d'équipement optimum.

2.2 CHOIX DU DEBIT RESERVE

Il est proposé de maintenir un débit réservé au droit de la prise d'eau égal à 50% de la valeur du débit caractéristique d'étiage de période de retour 2 ans (DCE2), soit **22,5 l/s**. Une analyse technico économique de plusieurs hypothèses de débit réservé est présentée dans l'annexe 05a.

2.3 PRISE D'EAU (VOIR PLANS 30-020 ET 30-021)

2.3.1 DESCRIPTION

La prise d'eau sur la rivière We Paalo se trouve à l'altitude 538 m NGNC. Il s'agit d'une prise dite « par en-dessous » ou « tyrolienne ». Ce type de prise est adapté aux torrents de montagne avec forte pente et fort transport solide.

La prise d'eau est localisée dans un tronçon rectiligne, en contrebas d'une vasque. Initialement, l'eau sort de la vasque située en amont de la prise à la cote 538,8 m environ par écoulement sur une dalle inclinée. Elle déverse ensuite naturellement sur un replat-rocheux situé 1 m en contrebas. L'installation de l'ouvrage de prise sur ce replat-rocheux permet l'implantation de la fosse de captage et de la grille sans faire obstacle au passage des crues.

L'eau est donc captée lors de son passage sur la grille inclinée de la prise d'eau. Elle est alors reçue dans une fosse de captage placée sous la grille puis dirigée par l'intermédiaire d'une conduite d'amenée vers la chambre de mise en charge.

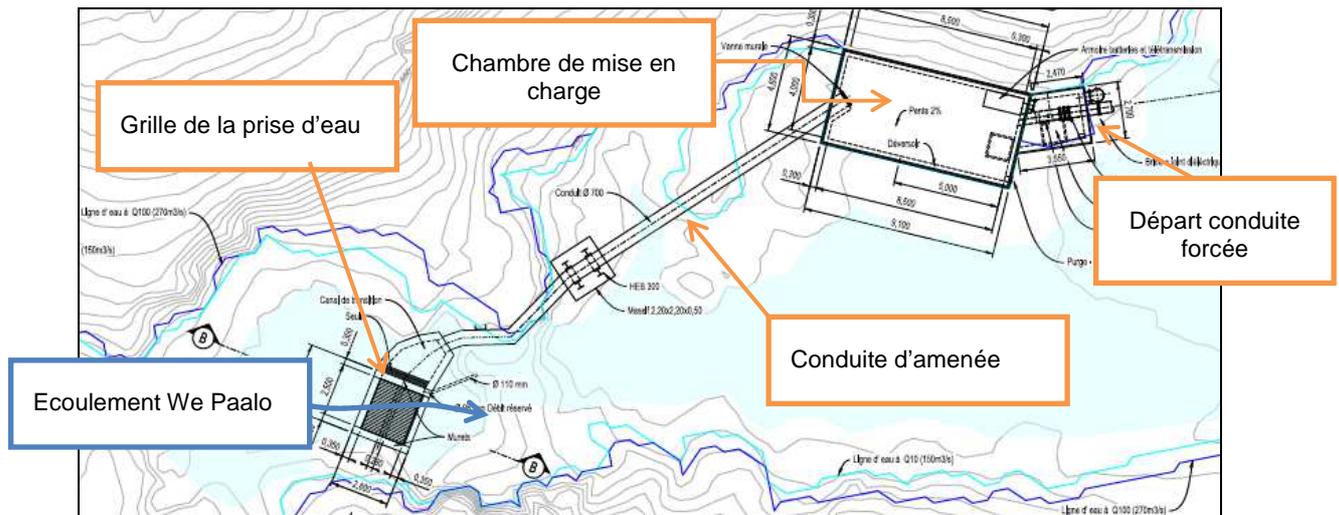
Les éléments suivants propres à la topographie du site ont guidé ce choix pour le site de We Paalo :

- Pente du cours d'eau : environ 25 % aux alentours de la prise d'eau
- Largeur de rivière limitée au droit de la prise : environ 7 m au niveau de l'eau, 2 m au niveau du déversoir de la vasque,
- Disposition favorable de la topographique : l'eau sort de la vasque par écoulement sur une dalle inclinée et déverse ensuite sur un replat-rocheux situé 1 m en contrebas permettant l'implantation de la fosse de captage et de la grille sans faire obstacle au passage des crues

De plus, le choix d'une prise tyrolienne permet l'économie de vannes de dimensions importantes nécessaires aux autres types de prise d'eau, ainsi que l'économie de réalisation d'un seuil pour surélever le niveau de la vasque.

Pour rappel, le débit d'équipement est de 0,71 m³/s. Ce débit se trouve dans la gamme des débits de fonctionnement d'une prise tyrolienne.

Le seuil latéral déversant ainsi que la conduite d'amenée sont dimensionnés pour le débit d'équipement. Pour des débits plus importants, l'eau excédante est déversée par-dessus la grille.



Plan de la prise d'eau

2.3.2 DIMENSIONNEMENT

2.3.2.1 Grille de prise d'eau

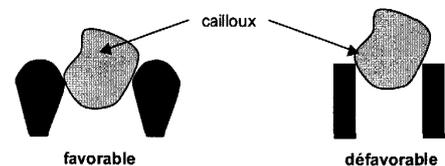
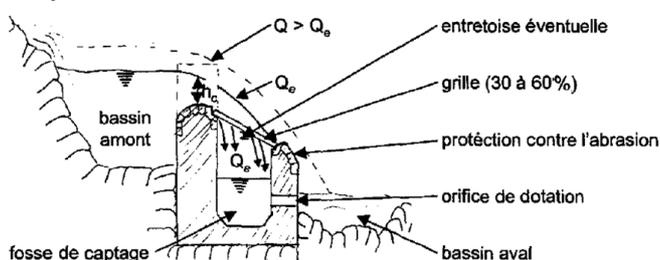
La grille présente les caractéristiques suivantes :

- Largeur de la grille, adaptée à la topographie du site : **2,5 m**
- Caractéristiques de la grille (liées au transport solide) définies après analyse de la littérature et des retours d'expérience :
 - o Ouverture entre barreaux : **20 mm** afin de limiter au maximum l'entrée de cailloux dans la prise et leur entrainement vers la turbine.
 - o Entraxe des barreaux : **60 mm**, afin qu'ils soient les plus épais – donc solides – possible, pour limiter au maximum la maintenance.

Ces caractéristiques sont conformes aux pratiques courantes concernant les prises tyroliennes, qui préconisent de respecter un rapport ouverture / entraxe compris entre 0,33 et 0,5.

- Inclinaison de la grille permettant le transfert des matériaux charriés, sans pénaliser la capacité de la grille : **30 °**
- Forme des barreaux : dont la section se rétrécit vers le bas afin de limiter le coincement des cailloux.

Coupe a - a : Prise d'eau



Caractéristiques d'une prise tyrolienne

La longueur de la grille a été calculée de manière à ce que le débit maximum tombant à travers la grille corresponde au débit d'équipement, grâce à la solution approximative de Franck.

$$L = \frac{\sqrt[3]{Q_s}}{2 \cdot c \cdot \mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

Avec :

$Q_{s+r} = 0,7325 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit (débit d'équipement + débit réservé)

$c = 0,6 \cdot \left(\frac{a}{b}\right) \cdot (\cos \beta)^{3/2}$, le facteur de la grille

$a = 20 \text{ mm}$, l'ouverture entre les barreaux

$b = 60 \text{ mm}$, l'espacement des barreaux

$\beta = 30^\circ$, l'inclinaison de la grille

$\mu = 0,9$, le facteur de débit selon la forme des barreaux

$B = 2,5 \text{ m}$, la largeur de la grille

$h = k \cdot h_c$, la hauteur d'eau au début de la grille

$h_c = 0,21 \text{ m}$, la hauteur critique

$k = 0,88 \cdot \cos \beta = 0,76$, le facteur de correction de la hauteur critique

L'équation de Frank donne $L = 1,74 \text{ m}$.

Un coefficient de sécurité de 1,4 a été appliqué à ce résultat, permettant d'intégrer le risque de blocage partiel de la grille. La longueur finale de la grille est ainsi :

$L = 2,43 \text{ m}$ soit $L_{projetée} \approx 2,1 \text{ m}$

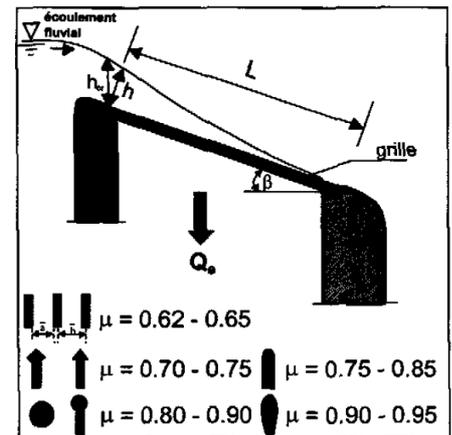
La surface totale de la grille vaut :

$$S = 2,43 * 2,5 = 6,07 \text{ m}^2$$

Des murets de 40 cm de haut encadrent la grille de part et d'autre en RD et RG afin de guider l'écoulement.

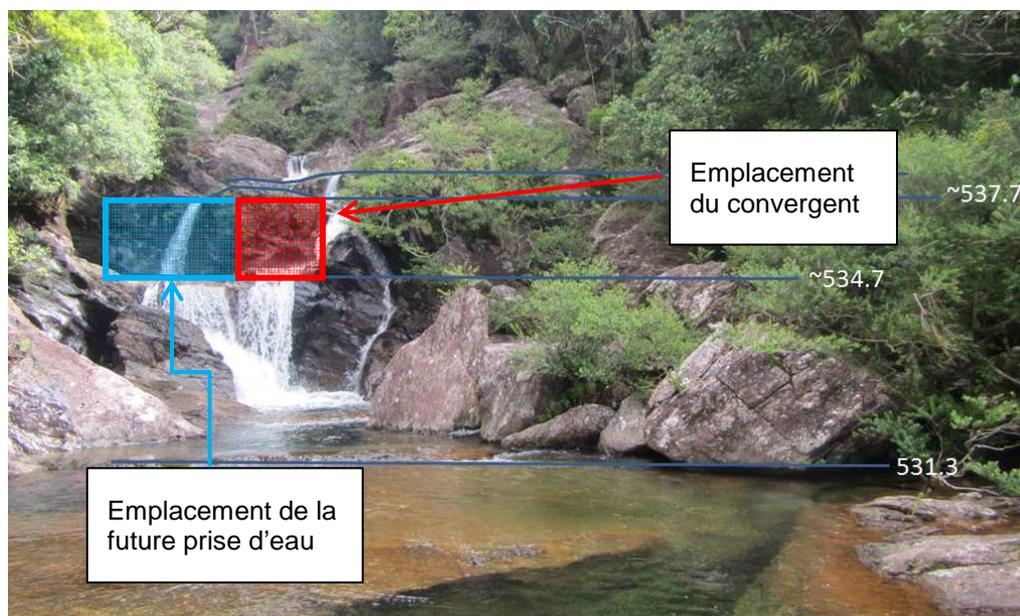
La grille est composée de plusieurs panneaux indépendants, chacun boulonnés sur un cadre métallique scellé aux parois en béton pour être facilement démontable. Un profilé en acier permettra de rigidifier le plan de grille à mi-hauteur.

L'espacement entre barreau de l'ordre de 20 cm est une valeur usuellement acceptée pour les prises d'eau ichtyocompatibles en rivière. Aucune espèce de poisson n'a été identifiée en amont de la prise d'eau : seuls des anguilles et des crevettes ont été recensées. En l'absence d'espèce de poissons potamoques, il n'y a pas de dévalaison larvaire au droit de la prise d'eau, les anguilles dévalant au stade adulte.



Une grille avec des barreaux d'espacement 20 cm peut permettre la dévalaison de plus d'un quart des anguilles mesurant entre 50 et 60 cm de long et de tous les individus de plus de 60 cm de long³. 20 % des anguilles mesurant entre 40 et 50 cm ne peuvent également pas passer à travers la grille. Les espèces de plus petites dimensions ont plus de chances de passer la grille. A noter que les anguilles ont un comportement hésitant à l'approche d'obstacles de type grille et peuvent chercher un trajet alternatif⁴. Pour les anguilles Ces observations ont été réalisées sur des prises d'eau en rivière qui constituent un obstacle à l'écoulement, dans lesquels les anguilles cherchent à trouver un passage : la prise d'eau du projet de centrale de Paalo est une prise d'eau tyrolienne présentant une inclinaison de 30° dans le sens de la pente. Le risque de passage dans la grille n'est donc pas de 100% pour les espèces en dévalaison dont la dimension leur permettrait en théorie de passer au travers des barreaux, ces dernières pouvant également être entraînées à l'aval de l'ouvrage du fait de la pente. Compte tenu de la dimension des crustacés, la grille n'offre pas de protection particulière pour leur dévalaison. A noter que la prise d'eau se situe à l'altitude 535 m NGNC.

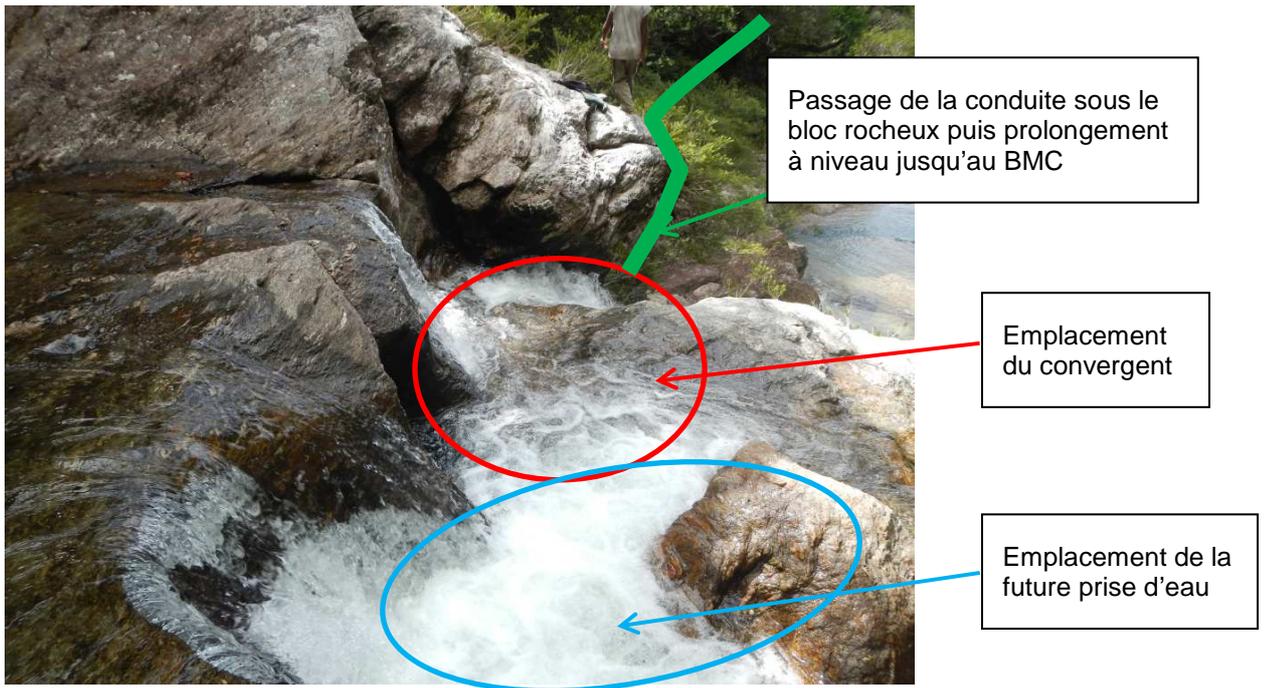
Les dimensions de la grille et de la prise d'eau sont directement liées à l'espacement des barreaux. Une diminution de l'espacement entre barreaux (par exemple 1 cm) nécessiterait d'augmenter la taille de la grille et donc de la prise, ce qui n'est pas compatible avec la topographie de la zone d'implantation de la prise (prise implantée entre deux vasques naturelles dans une zone escarpée : la prise d'eau et son convergent occupent toute la hauteur disponible). Une réduction de l'espacement entraîne également un accroissement du risque de colmatage.



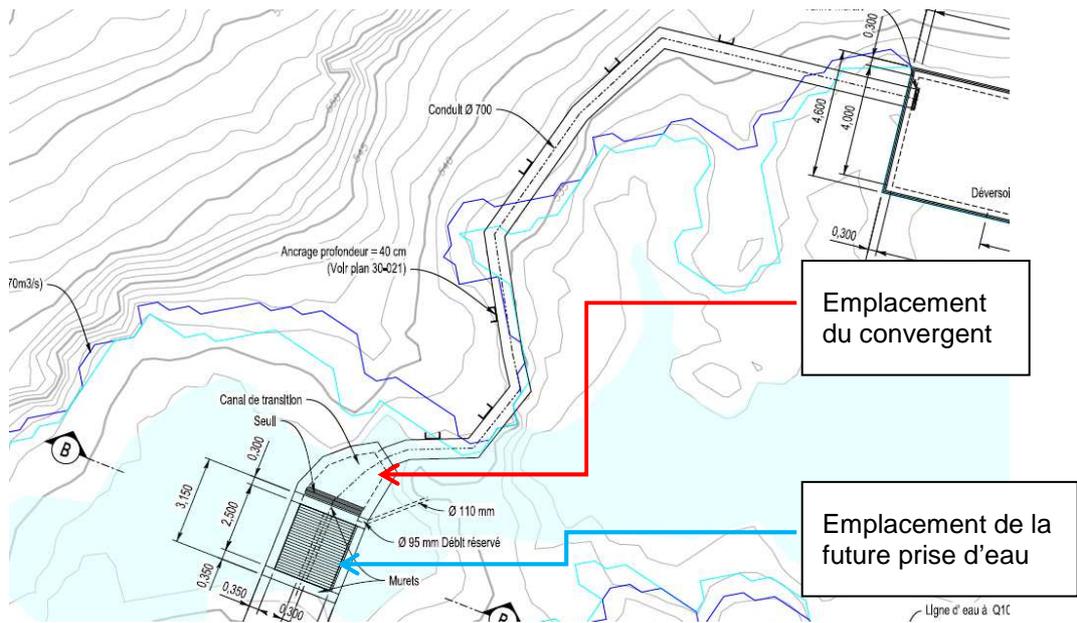
Site de la prise d'eau vu d'aval.

³ « Guide pour la conception de prises d'eau « Ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydroélectriques », 2008, D. Courret et M. Larinier, statistiques observées sur les anguilles argentées.

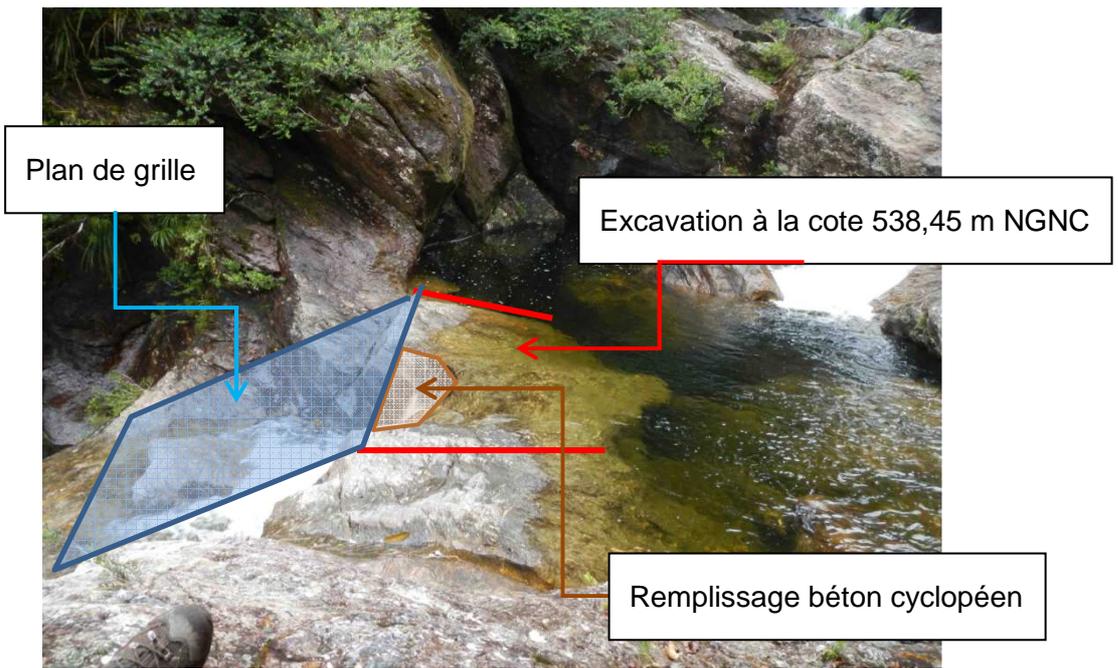
⁴ Maarten C.M. Bruijs and Caroline M.F. Durif "Silver Eel Migration and Behavior"



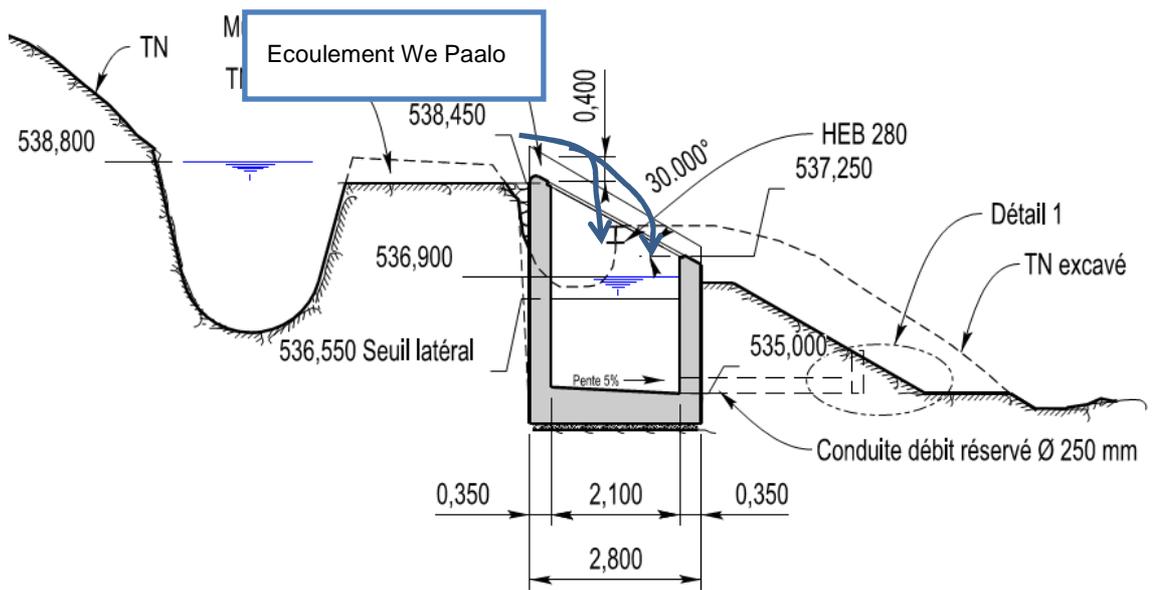
Emplacement de la prise, du convergent et du départ de la conduite d'aménée



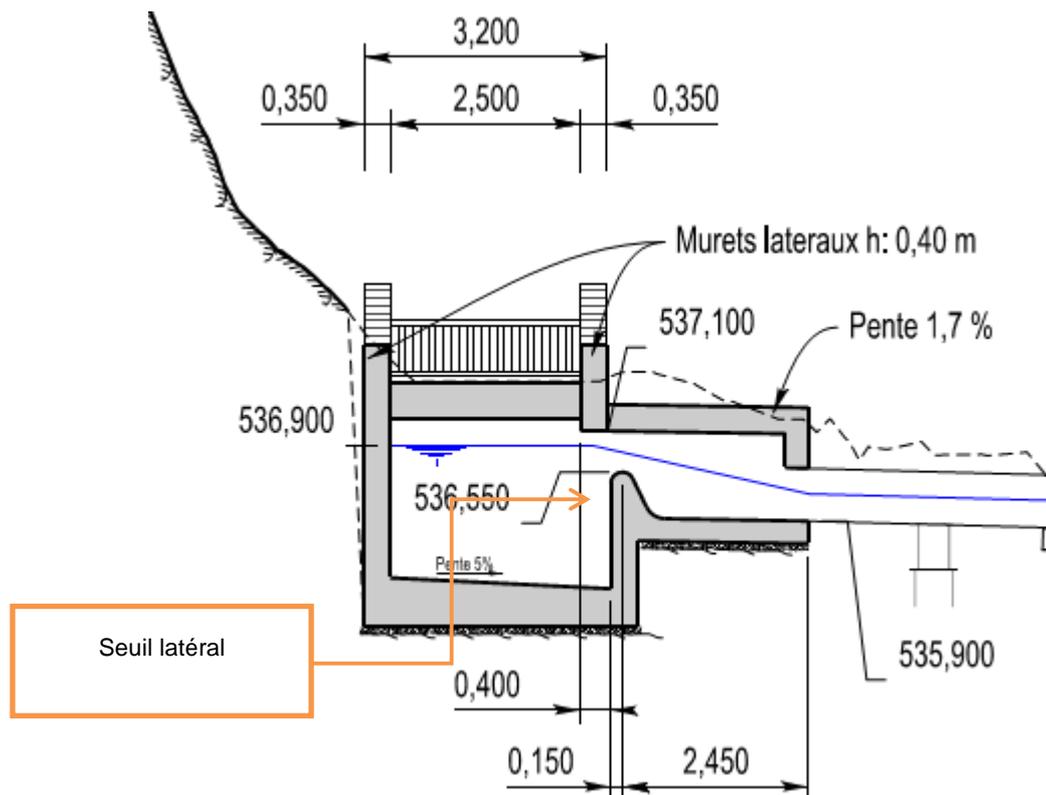
Vue en plan de la prise d'eau et du convergent.



Implantation de la future prise.



Coupe amont-aval de la grille et de la fosse de captage



Coupe rive gauche-rive droite de la grille et de la fosse de captage.

2.3.2.2 Fosse de captage

L'eau traversant la grille tombe dans la fosse de captage, depuis laquelle le débit réservé est restitué au cours d'eau. Afin de ne pas perdre d'eau par débordement, une revanche de **35 cm** est imposée entre le point bas des grilles et le niveau de l'eau dans la fosse au débit d'équipement.

Un seuil latéral d'une longueur de 2 m permet de contrôler le débit entrant dans la conduite d'amenée. Il est calé à la cote **536,55 m NGNC**, soit 1,5 m au-dessus du fond de la fosse, ce qui permet de contrôler le débit restitué à la rivière.

Au débit d'équipement (0,71 m³/s), la hauteur d'eau sur le seuil latéral est de 33 cm.

Le bassin créé a les dimensions suivantes : 2,1 m (amont-aval) x 2,9 m (RD-RG) x 2,5 m (de hauteur sous le point bas de la grille).

Le tableau ci-dessous reprend les cotes principales de l'ouvrage de prise d'eau :

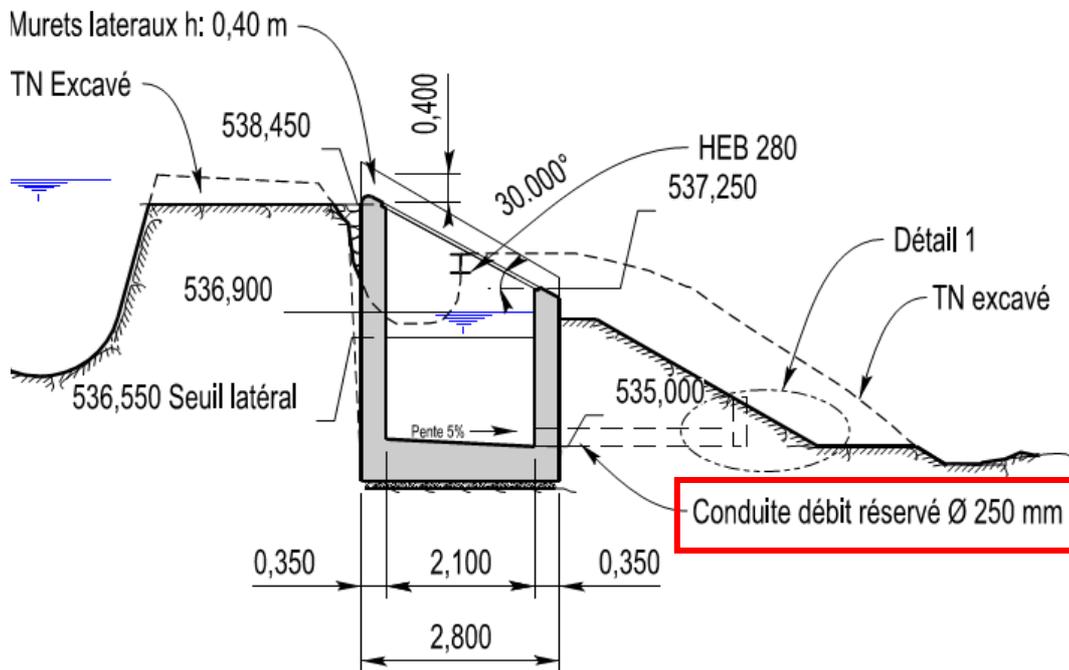
	Cote associée
Plan d'eau	538,80 m NGNC
Seuil de la prise	538,48 m NGNC
Haut de la grille	538,45 m NGNC
Bas de la grille	537,25 m NGNC
Niveau de l'eau dans la fosse de captage	536,90 m NGNC
Seuil latéral d'entonnement	536,55 m NGNC
Fond de la fosse de captage	535,00 m NGNC

Cotes principales de l'ouvrage de prise d'eau

2.3.2.3 Restitution du débit réservé

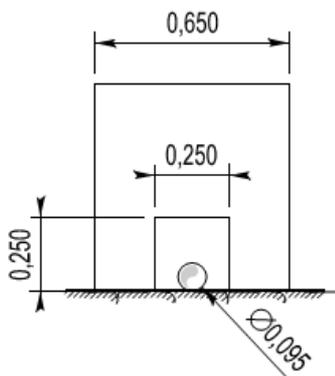
La valeur du débit réservé est proposée à 22,5 l/s. Il est restitué dans le cours d'eau immédiatement à l'aval du bassin de la prise d'eau tyrolienne, afin qu'aucune partie du cours d'eau ne soit complètement asséchée.

Un orifice de diamètre 25 cm situé au fond de la fosse de captage dans le coin aval RD, débouchant sur une vanne sur laquelle un orifice de 9,5 cm est percé permet l'écoulement du débit correspondant. Deux pentes longitudinales et transversales de 5% sont dirigées vers l'orifice de débit réservé afin de permettre l'évacuation naturelle des graviers qui pourraient passer à travers les grilles. La vanne sera une vanne de type murale positionnée sur un parement en béton ancré au rocher. L'ouverture de la vanne permettra d'améliorer le dégravement, limiter l'obstruction et permettre un entretien plus aisé en cas d'obstruction.

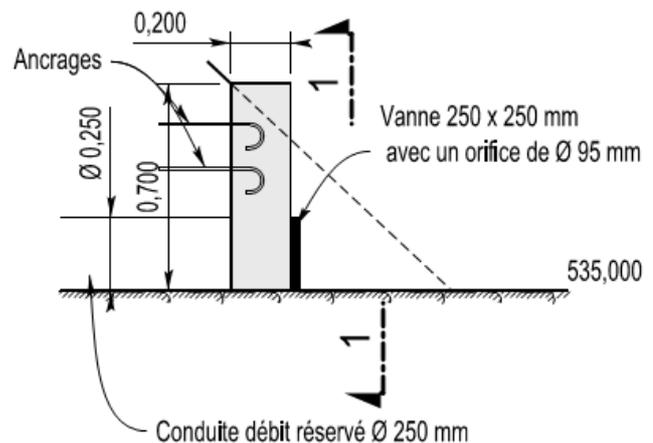


**Coupe amont-aval de la fosse de captage
faisant apparaitre le conduit du débit réservé**

**COUPE 1 - 1
Ech : 1/20**



**DETAIL 1
Ech : 1/20**



Détails de la restitution du débit réservé

Le rocher dans le prolongement de l'orifice devra être foré afin de permettre au débit de s'écouler jusqu'au lit de la rivière. Le diamètre du forage devra être plus important que celui de l'orifice afin de ne pas impacter le débit restitué. Il pourra être réalisé au moyen de forages sécants.

La présence du seuil latéral, calé à la cote 536,55, avant l'entonnement dans la conduite d'amenée permet d'assurer une charge relativement constante au-dessus de l'orifice (comprise entre 1,5 et 1,85 m selon le débit capté).

Ci-après les débits restitués par l'orifice de débit réservé dans les conditions extrêmes d'utilisation (étiage et débit d'équipement).

	Diamètre de l'orifice	Coefficient de débit	Charge	Débit	Vitesse
Max	9,5 cm	0,592	1,8 m	24,6 l/s	3,5 m/s
Min			1,45 m	22,6 l/s	3,2 m/s

Le débit restitué par l'orifice du débit réservé est ainsi compris entre 22,6 l/s à l'étiage (valeur du débit réservé) et 24,6 l/s au débit d'équipement, soit une variation de 10% tout au long de l'année. Pendant 38 % du temps, les débits restitués sont supérieurs au débit réservé :

- 30 % du temps pour les périodes de faible débit où l'usine ne fonctionne pas (débit inférieur à la somme du débit d'armement et du débit réservé). L'intégralité du débit est lors restitué.
- 8% du temps quand les débits sont importants et supérieurs au débit d'équipement. Le débit restitué est alors égal à la somme du débit réservé et de l'excédent de débit.

2.3.2.4 Conduite d'amenée

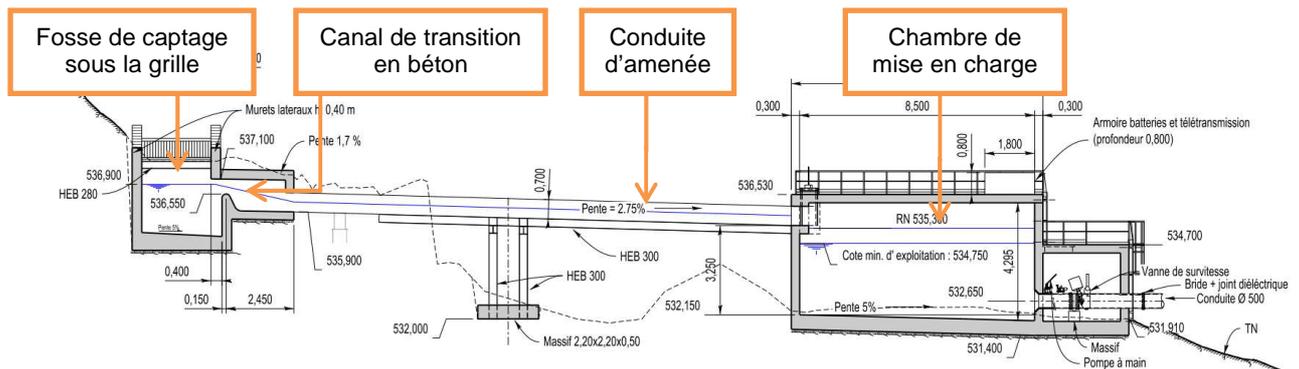
Entre la prise d'eau et la chambre de mise en charge se trouve une conduite d'amenée en acier fonctionnant à surface libre. Son diamètre est de 0,7 m et sa pente de 2,75 % permet d'éviter le dépôt des particules fines en assurant un auto-curage de la conduite. La longueur de la conduite est de 22 m.

La conduite est hors d'eau jusqu'à la crue centennale sauf sur les quelques premiers mètres qui sont situés dans le lit du cours d'eau.

Les 6,5 premiers mètres de la conduite sont ancrés au rocher. La conduite est ensuite portée par un profilé métallique de 15 m de portée. Ce profilé repose d'un côté sur une pile de support, de l'autre sur le bassin de mise en charge.

Un canal en béton armé permet la transition entre la fosse de captage (2,1 m) et la conduite d'amenée à surface libre.

La conduite d'amenée aboutit dans la chambre de mise en charge à la cote 535,40 m, 10 cm au-dessus de la cote de RN.



Profil en long de la fosse de captage, de la conduite d'amenée, et de la chambre de mise en charge

2.4 CHAMBRE DE MISE EN CHARGE (VOIR PLANS 30-020 ET 30-021)

2.4.1 TRANSPORT SOLIDE

La prise d'eau contrôle un bassin versant de 3,8 km² situé sur la face Nord du massif du Mont Panié. Le bassin versant est fortement végétalisé et le substratum rocheux est affleurant dans le lit mineur de la rivière sur la quasi-totalité de son linéaire.

Suite à la visite de site et à l'étude des photographies aériennes du bassin versant, le transport solide de blocs rocheux par charriage semble faible voire inexistant.

Concernant le transport de matière en suspension, l'érosion du bassin versant et la création de matériaux fins sont très limitées du fait du couvert végétal dense qui couvre l'ensemble du bassin versant. La concentration en éléments fins transportés par suspensions par le cours d'eau est donc a priori faible voir très faible.

La visite de terrain a permis de constater la présence de matériau friable pouvant contenir des minéraux abrasifs pour les turbines comme le Quartz (...). Des sables/graviers ont été observés dans certaines vasques. La visite a permis de constater l'absence de matériaux très fins du type argile qui dans tous les cas sont trop fins pour être décantés et ne représentent pas un risque pour les turbines.

Etant donné les conditions topographiques difficiles de réalisation de la prise d'eau (dans une gorge escarpée) et le faible risque de transport de matériaux fins, il a été décidé de ne pas réaliser de dessableur et de se contenter du pouvoir de décantation de la chambre de mise en charge de la conduite.

2.4.2 DESCRIPTION DE LA CHAMBRE DE MISE EN CHARGE

La chambre de mise en charge est située en contrebas de la prise d'eau, en rive gauche de We Paalo.

La chambre de mise en charge a pour but de garantir un bon fonctionnement hydraulique de la prise d'eau en empêchant l'entraînement d'air dans la conduite forcée lors du turbinage. Deux phénomènes peuvent être à l'origine d'un entraînement d'air :

- La création de vortex au niveau de l'entonnement, que l'on prévient en garantissant une hauteur de submersion minimum au-dessus de la conduite,
- Les variations de niveau dans la chambre dues au temps de réponse hydraulique du système lors des changements de consigne d'exploitation : un volume minimum du bassin de mise en charge doit être respecté.

Dans le cas de l'aménagement de We Paalo, le bassin de mise en charge a également un rôle de décantation et de dessablage de l'eau turbinée en l'absence de dessableur. Il permet de faire décanter les matériaux issus du transport solide et protège ainsi la conduite forcée et la turbine de l'abrasion due à une eau chargée en particules solides.

La **cote de retenue normale** de la chambre de mise en charge est définie à la cote **535,3 m**. Le niveau d'eau dans la chambre de mise en charge est géré grâce au débit turbiné, à l'aide d'une sonde de niveau.

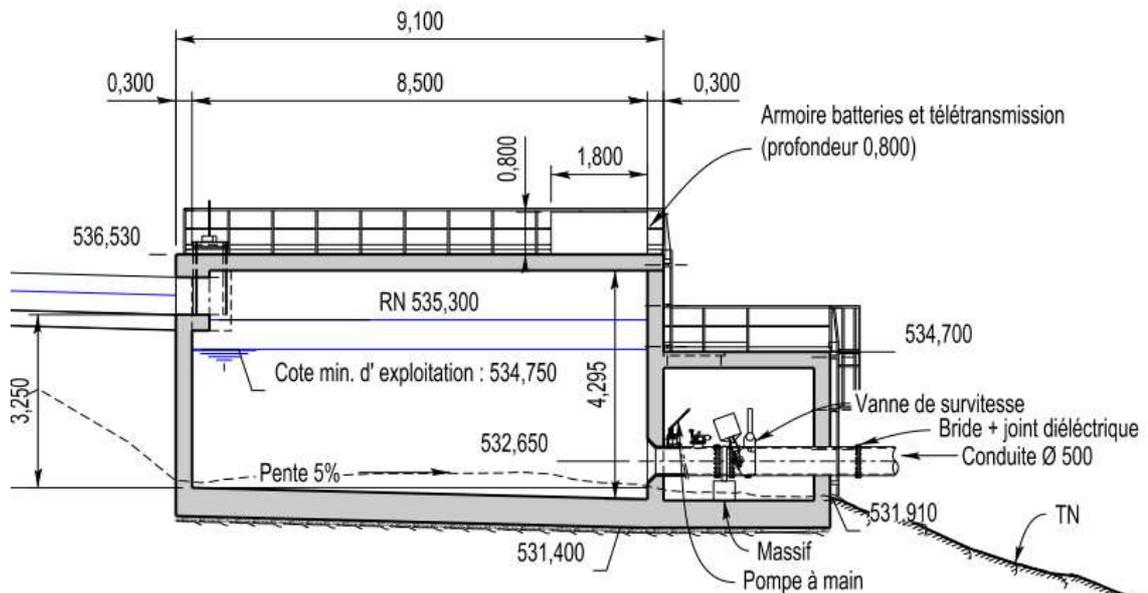
Un trop-plein est implanté dans la chambre de mise en charge. Ce trop-plein est destiné à évacuer un éventuel débit excédentaire rentrant dans la prise à travers la grille. Il permet également d'évacuer le débit entrant en cas d'arrêt des groupes.

Les dimensions intérieures de la chambre de mise en charge sont les suivantes :

- Hauteur : 4,1 m ;
- Largeur : 4 m ;
- Longueur : 8,5 m.

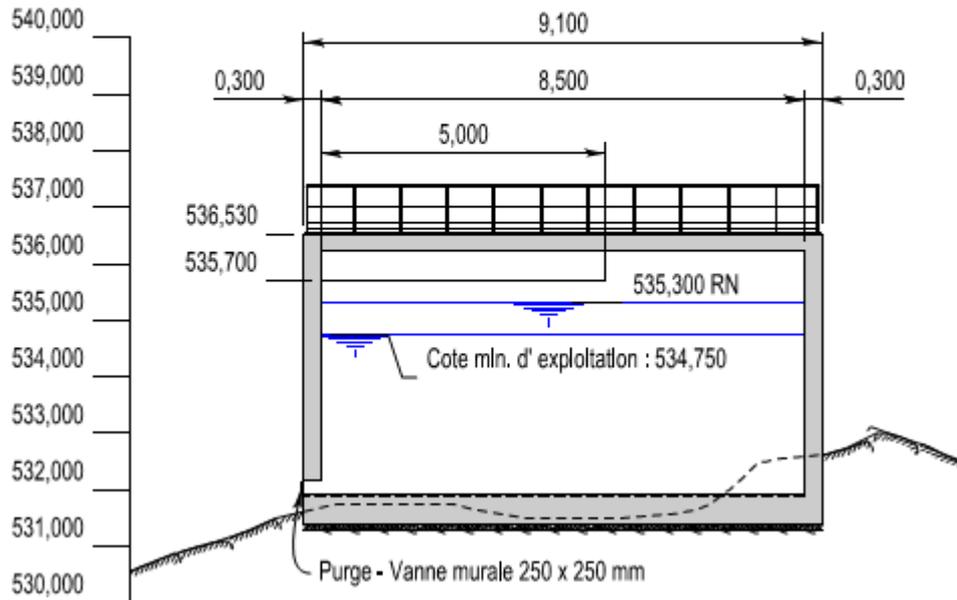
Le fond de la chambre de mise en charge est légèrement incliné pour diriger les particules décantées vers la conduite de purge. Une vanne de chasse à l'entrée de la conduite de purge sera actionnée manuellement et permettra de nettoyer régulièrement le bassin de mise en charge.

En cas de nécessité d'une opération de maintenance dans la chambre de mise en charge, celle-ci pourra être isolée de la prise d'eau par l'intermédiaire d'une vanne murale située sur la voile amont.

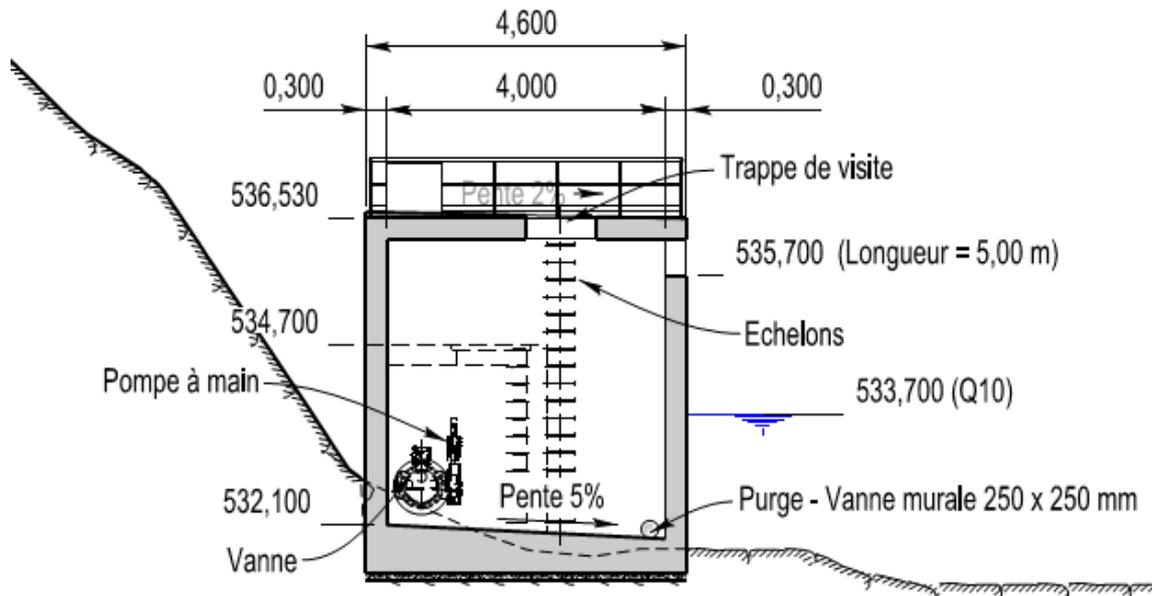


Coupe longitudinale du bassin de mise en charge

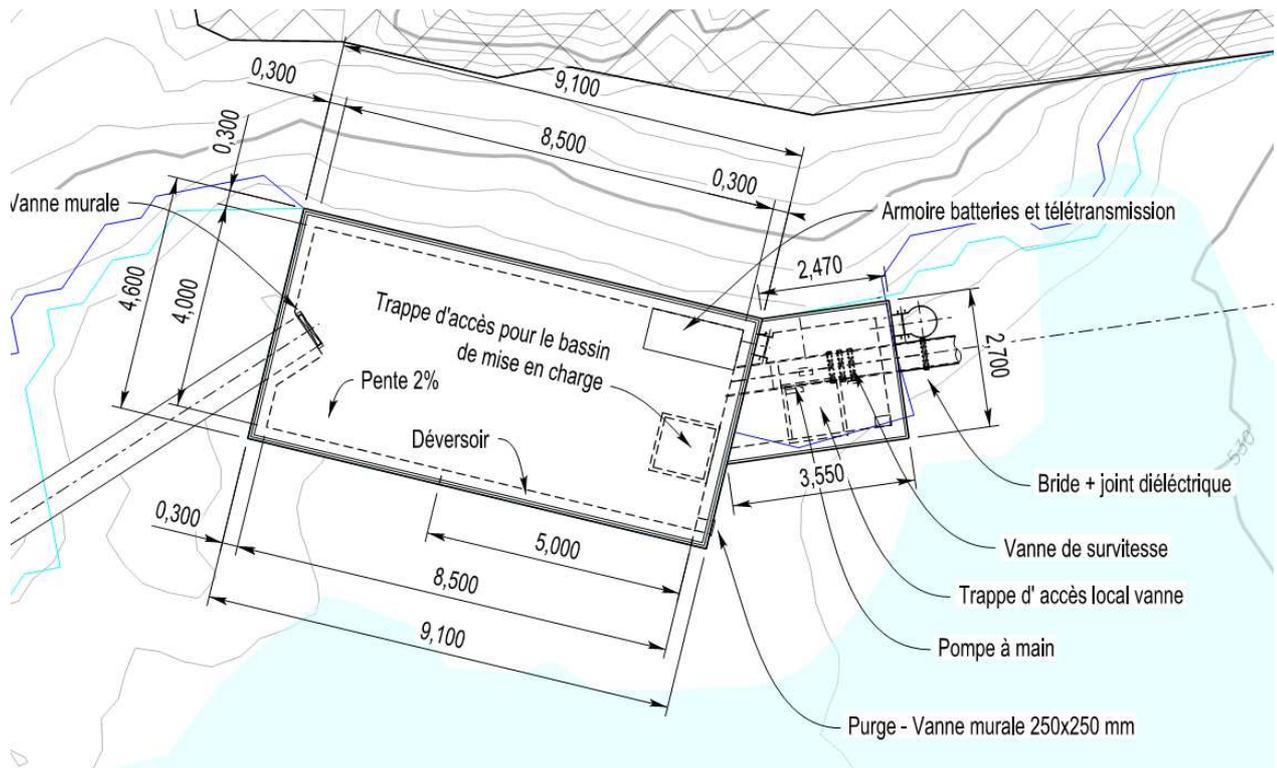
COUPE E - E
Ech : 1/100



Coupe longitudinale du bassin de mise en charge (vue sur la vanne de purge)



Coupe latérale du bassin de mise en charge



Vue du dessus du bassin de mise en charge

2.4.3 DIMENSIONNEMENT

2.4.3.1 Hauteur de submersion minimum

Une rotation de l'écoulement (création de vortex) se forme à l'amont de l'entonnement de la conduite forcée dans le bassin de mise en charge et peut entraîner de l'air ce qui est préjudiciable pour la conduite et le bon fonctionnement hydraulique de l'ouvrage. Afin d'éviter ce type d'écoulement, une hauteur de submersion critique doit être respectée.

Différentes formulations existent dans la littérature afin de déterminer cette hauteur critique.

Le diamètre de la conduite forcée étant de 0,5 m et le débit d'équipement de $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$, la hauteur critique de submersion moyenne obtenue est la suivante : 1,85 m. Cette hauteur fixe la cote minimale d'exploitation.

2.4.3.2 Dimensionnement du trop plein

Le trop-plein de la chambre de mise en charge est dimensionné de façon à évacuer au moins deux fois le débit entrant soit $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le seuil libre de l'évacuateur de trop plein est arasé à la cote 535,7 m afin de se situer au-dessus de la cote de déversement de la conduite d'amenée. La largeur du déversoir est fixée à 5 m pour une revanche de 0,23 m au-dessus du seuil.

2.4.3.3 Volume minimum de la chambre

Le volume minimum de la chambre de mise en charge est déterminé par les conditions de mise en service de la turbine. Il est nécessaire d'avoir le volume suffisant dans la chambre de mise en charge afin d'assurer une mise en service des groupes sans entrainement d'air dans la conduite.

Différents critères existent à ce sujet dans la littérature. Le plus conservatif d'entre eux a été retenu. Il a donc été choisi d'opter pour un volume de chambre de mise en charge de 107 m^3 garantissant plus de 120 s de turbinage au débit d'équipement dans le volume total du bassin de mise en charge.

Le fond de la chambre de mise en charge est disposé légèrement au-dessus du niveau de la vasque aval, à la cote 532,15 m.

Le fond de la conduite forcée étant disposée à la cote 532,4 m, **la cote minimale de turbinage est 534,75 m** pour un bassin de mise en charge de 8,5 m de longueur sur 4 m de largeur.

2.4.3.4 Vanne de purge

A l'extrémité aval de la chambre de mise en charge se trouve la vanne de purge, qui aboutit dans une conduite de restitution vers la rivière.

La vanne de purge est dimensionnée pour évacuer $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ à pleine charge (lorsque la chambre est pleine).

2.4.3.5 Reniflard

Un reniflard doit être mis en place à l'aval de la vanne de survitesse. Il est destiné à éviter les phénomènes transitoires dans la conduite forcée lors de la fermeture de la vanne de survitesse en permettant l'entrée d'air dans la conduite. Il permettra également le remplissage d'air de la conduite forcée lors des phases de vidange.

Il est constitué d'un tube acier protégé de la corrosion par peinture. Il débouchera à une cote de 536,53 m NGNC.

Une protection sera installée au sommet du reniflard de manière à éviter l'entrée de corps étrangers dans la conduite.

Le reniflard est dimensionné pour permettre l'admission d'un volume d'air égal au débit d'eau maximum dans la conduite. Ce débit correspond au débit de fermeture de la vanne de survitesse, c'est-à-dire $Q = 1,3 \times \text{débit d'équipement}$.

Le débit d'air retenu sera donc de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

La vitesse de l'air dans le reniflard usuellement utilisée est de 45 m/s (USACE dans l'ouvrage « Hydraulic Design Criteria »).

Dans ces conditions, le diamètre de reniflard est de 160 mm. De manière conservative, le reniflard retenu sera de **200 mm**.

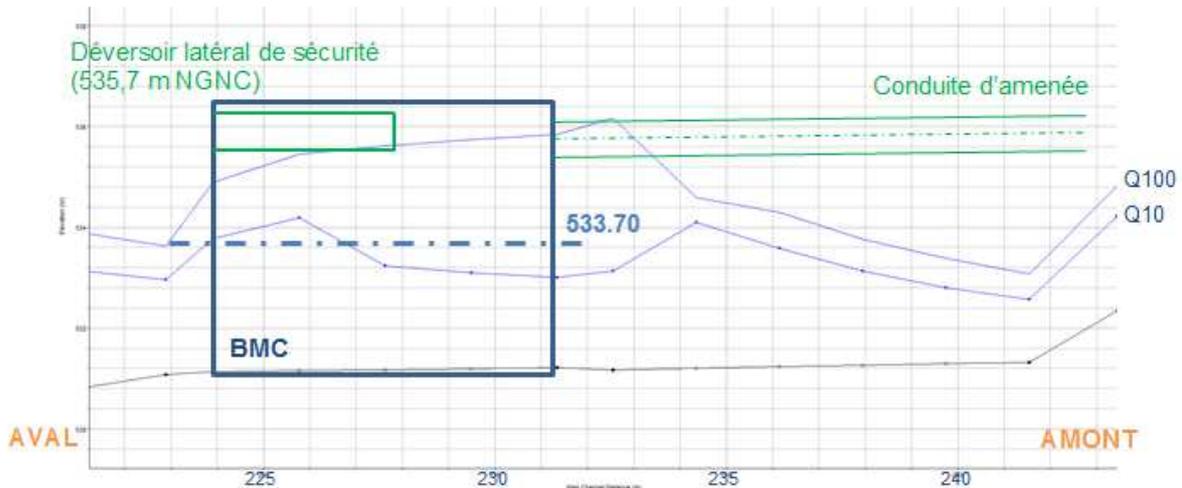
2.4.4 PASSAGE DES CRUES

Un modèle 1D HEC-RAS a été réalisé autour de la prise d'eau pour évaluer les niveaux atteints en crue, à Q_{100} ($270 \text{ m}^3/\text{s}$) et Q_{10} ($150 \text{ m}^3/\text{s}$). Il a été défini à partir des données topographiques LIDAR.

On donne la ligne d'eau le long du bassin de mise en charge, pour les deux crues considérées.

Le bassin de mise en charge n'est pas submergé. La conduite d'aménée est également hors d'eau sur la quasi intégralité de son linéaire (excepté les quelques derniers mètres pour la crue centennale). La présence des gros blocs dans le lit de la rivière juste à l'amont de cette zone devrait suffire à la protéger.

Le déversoir latéral de sécurité est hors d'eau quelles que soient les crues considérées, empêchant le remplissage du bassin de mise en charge par l'extérieur.



Ligne d'eau le long du bassin de mise en charge

2.5 CONDUITE FORCEE (VOIR PLANS 30-030 A 30-035)

2.5.1 DESCRIPTION

La conduite forcée a pour objectif d'amener les débits transitant depuis la chambre de mise en charge vers l'usine en minimisant les pertes de charges.

Dans le cas de l'aménagement de We Paalo, son tracé est principalement défini par la topographie : limiter l'emprise des travaux dans les zones de forêt, optimiser le passage des creeks et prendre en compte les accidents de terrains (dépressions, blocs...).

Un découpage en différents tronçons a été réalisé, 5 zones ont été délimitées en fonction du tracé de la conduite forcée par rapport aux conditions topographiques (inclinaison du terrain naturel) et géologiques :

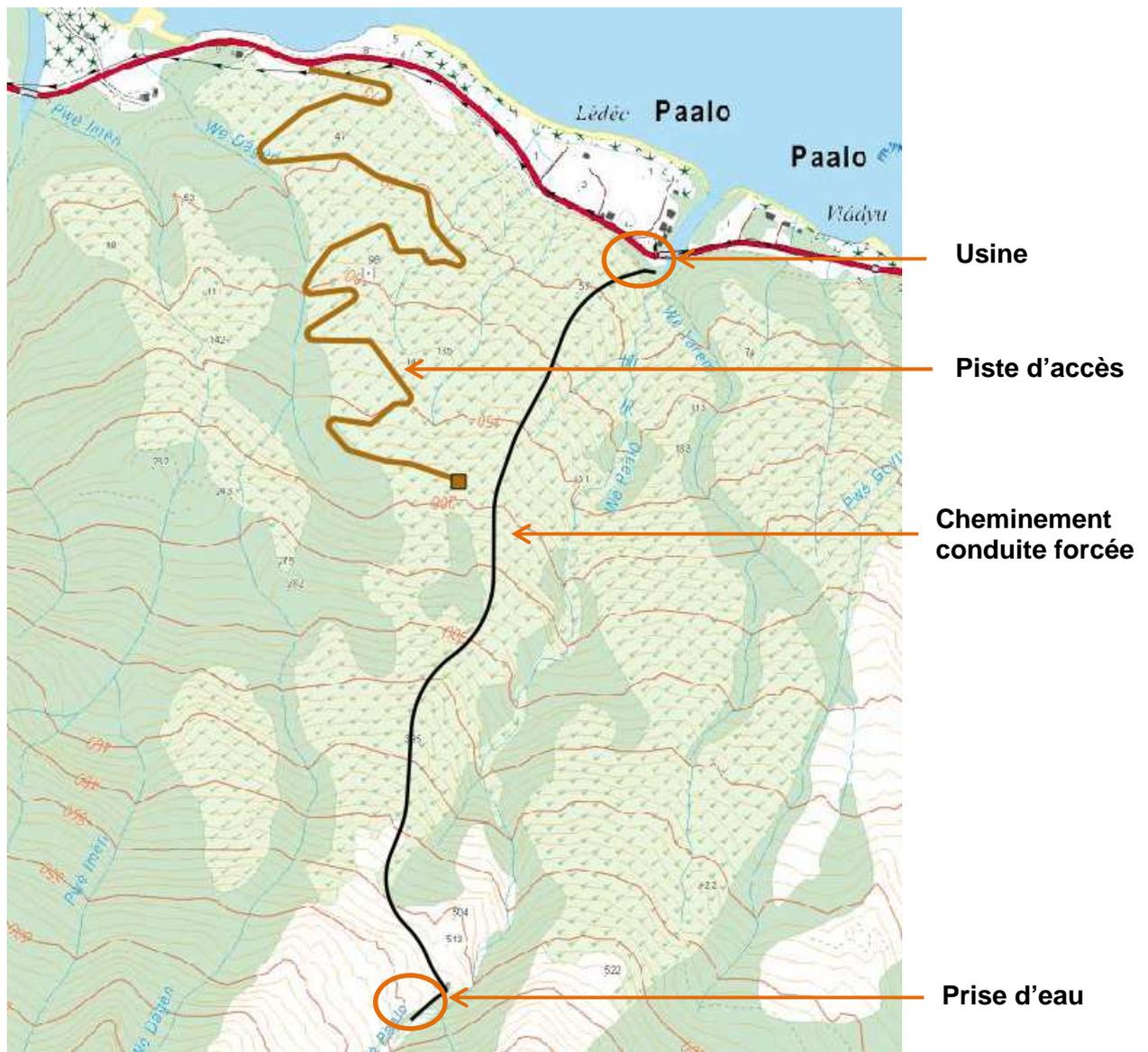
N° de zone	Cote max	Cote min	Longueur approximative de la conduite forcée
Zone 1	540 m	525 m	120 ml
Zone 2	525 m	510 m	200 ml
Zone 3	510 m	370 m	400 ml
Zone 4	370 m	90 m	730 ml
Zone 5	90 m	5 m	240 ml
Total			1680 ml

Caractéristiques des tronçons de la conduite forcée

Sur la majorité du linéaire (1400 m soit 83 %) la conduite forcée est enterrée dans une tranchée. Au niveau des passages où les conditions topographiques et/ou géotechniques sont compliquées (sortie du lit de la We Paalo, passage de creek, présence de nombreux blocs métriques), la conduite est aérienne (280 m linéaire soit 17%).

Elle est réalisée en fonte ductile sur tout le linéaire, sauf au niveau du massif de pied où elle est en acier jusqu'à la turbine, ce qui permet d'optimiser le nombre de coudes et de diminuer le nombre de massifs en utilisant les déviations angulaires proposées par les tuyaux en fonte.

La visite de terrain et le levé topographique par LiDAR conduisent à définir le tracé de la conduite forcée suivant :



Tracé de la conduite forcée

2.5.2 DIMENSIONNEMENT

2.5.2.1 Diamètre – pertes de charge

La charge brute en pied de conduite est la différence entre la cote du plan d'eau à la chambre de mise en charge et la cote de l'axe de la turbine Pelton. Elle est estimée à 530,7 m, l'axe de la turbine étant positionné à la cote 4,6 m.

Cependant, les écoulements le long du chemin d'adduction d'eau, constitué principalement par la conduite forcée, engendrent des pertes de charge. De manière générale, les pertes de charge sont classées en deux catégories distinctes :

- *Pertes de charge linéaires ou régulières*: ces pertes sont dues à l'écoulement de l'eau dans la conduite et dépendent du diamètre de la conduite, du débit et de la rugosité de la paroi intérieure de la conduite ainsi que de sa longueur. Même pour une conduite parfaitement lisse, ces pertes sont inévitables car elles sont dues au frottement entre les couches laminaires de l'écoulement et aux turbulences,
- *Pertes de charge singulières* : partout où la conduite impose une modification du vecteur vitesse de l'écoulement (prise d'eau, passage d'une grille, coude, étranglement, diffuseur, etc.), c'est-à-dire aux changements de section ou de direction, des pertes de charges s'additionnent aux pertes régulières. Ces pertes dépendent de la forme locale de la conduite.

Une étude d'optimum économique a été réalisée en phase d'étude préliminaire afin de choisir le diamètre de la conduite.

Les pertes de charges totales ont été calculées pour des conduites forcées comportant un diamètre normalisé compris entre 0,35 et 0,7 m. Pour les différents diamètres, les pertes de charges occasionnées varient entre 40% et 1% de la hauteur de charge brute, la puissance installée varie donc entre 1883 kW et 3020 kW et le productible annuel entre 5,2 GWh et 6,5 GWh.

Seul le coût de fourniture de conduite et le coût des équipements de production de l'aménagement (turbine et alternateur) sont impactés par la variation du diamètre de la conduite forcée et de la puissance installée. Les autres composantes de l'aménagement sont considérées comme constantes.

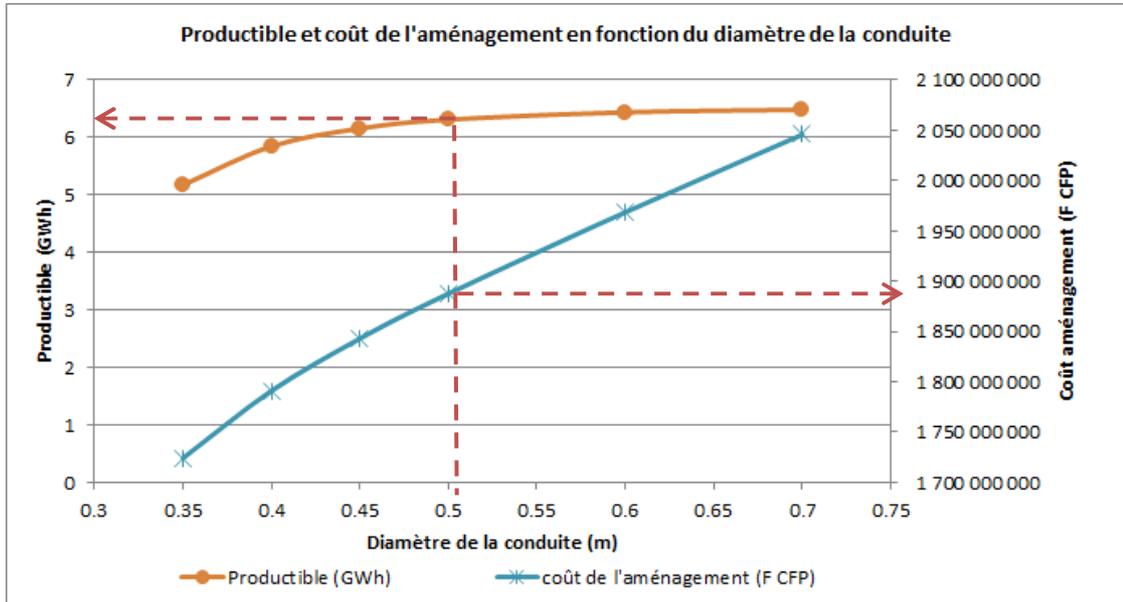
Le coût du projet a été estimé pour l'ensemble des diamètres étudiés, ainsi que le coût de revient du kWh.

Le coût de l'aménagement ramené à la puissance installée présente un palier à partir du diamètre de conduite forcée 0,45 m (peu de variation pour les diamètres plus élevés), la valeur du productible de l'aménagement présente, lui, un palier à partir du diamètre 0,5 m.

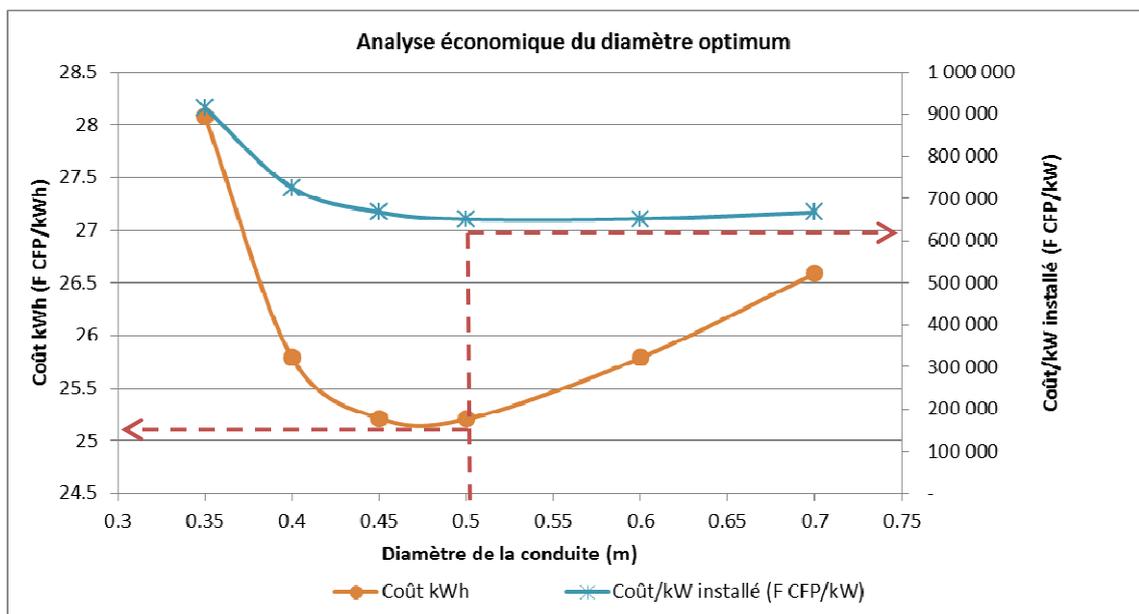
La courbe du coût du kWh produit par l'aménagement présente quant à elle un optimum économique autour de 25 F CFP / kWh pour les diamètres 0,45 et 0,5 m.

Le diamètre de la conduite forcée a été choisi de manière à limiter les pertes de charge dans la conduite et à maximiser la rentabilité de l'aménagement, c'est donc le diamètre 0,5 m qui a été retenu.

Les figures ci-dessous présentent les résultats de l'étude du diamètre optimum de la conduite forcée :



Productible et coût de l'aménagement en fonction du diamètre de la conduite



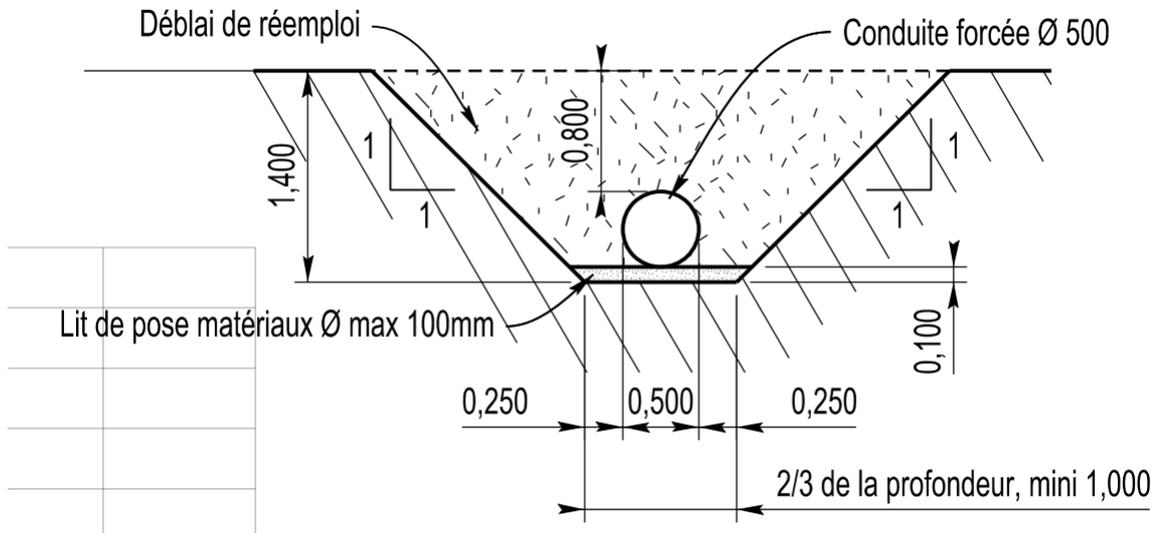
Coût de l'aménagement / kW installé et coût du kWh en fonction du diamètre de la conduite

La conduite forcée, après étude détaillée, a les caractéristiques suivantes :

- Longueur : 1680 m
- Diamètre intérieur moyen : 509 mm (DN 500, fonte gamme Pont-à-Mousson)
- Charge brute : 530,7 m
- Pertes de charge : 31,86 m
- Charge nette : 498,8 m
- Débit maximal : 0,71 m³/s
- 19 coudes de 11,25° à 90°

2.5.2.2 Conditions de pose, massifs d'ancrage et plots de support

Sur la majeure partie du linéaire, la conduite est enterrée, suivant le profil type donné ci-dessous. La profondeur d'enfouissement recommandée par les constructeurs de tuyau en fonte est de 1,2 m au-dessus de la génératrice supérieure pour garantir une friction du sol sur la conduite permettant de reprendre les efforts aux coudes et dans les courbes ainsi que pour éviter son glissement.



Conduite enterrée – profil type

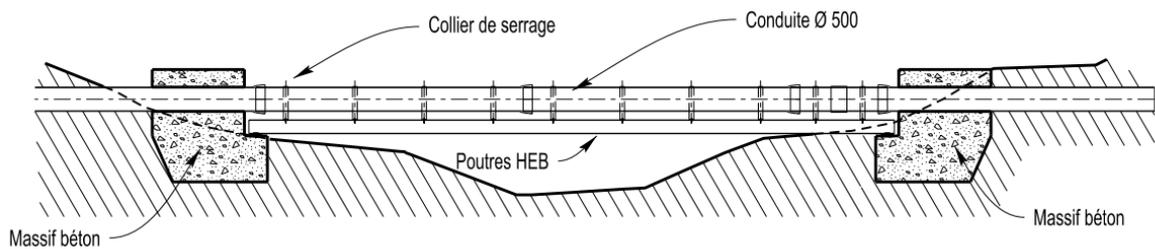
Le remblaiement de la conduite sera réalisé avec les matériaux du site criblés (purgé des éléments supérieurs à 10 cm et $d_{70} < 1$ cm) et compactés à la plaque vibrante, l'épaisseur des couches sera déterminée en fonction de la nature des matériaux et des études d'exécution de l'entreprise mais sera dans tous les cas inférieure à 30 cm. Lorsque les matériaux du site seront impropres pour le remblaiement, ce dernier sera réalisé avec un matériau d'apport. Le tracé de la conduite sera végétalisé après la pose afin de limiter les risques d'érosion.

Le marché des entreprises en charge de la réalisation des travaux comprend la gestion des eaux de ruissellement pour éviter la concentration des écoulements et limiter les rejets de fines. Le plan de gestion des eaux détaillé sera réalisé par les entreprises en phase d'études d'exécution et fera l'objet d'une validation par le Maître d'œuvre. Le plan de gestion des eaux comprendra par exemple des épis, dos d'âne et autres éléments pour canaliser les écoulements, briser régulièrement la charge et les ramener vers un exutoire.

Pour l'ensemble de la conduite forcée, 17 massifs en béton devront être réalisés – dont le massif de pied juste avant l'usine. Ils ont pour objectif de reprendre les efforts de poussée hydraulique au niveau des coudes de la conduite forcée.

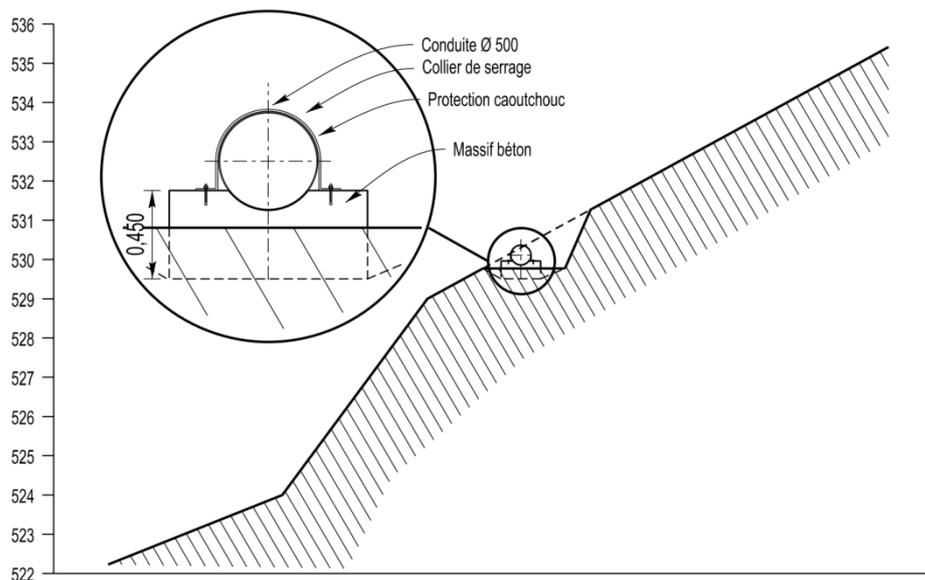
Les portions aériennes de la conduite (280 m linéaire au total soit 17%) nécessiteront également l'installation de plots de supports complémentaires en béton :

- Dans le cas où la portée est importante (tronçon 1 de la conduite ou traversée de creeks – au nombre de 4), la conduite repose sur des profils HEB en appui sur les plots de support en béton. Les portées sont comprises entre 8 et 20 m.



Coupe type conduite aérienne ou passage de creek

- Lorsque la conduite circule à flanc de talus, des pilettes en béton permettent de venir soutenir chaque tuyau séparément.



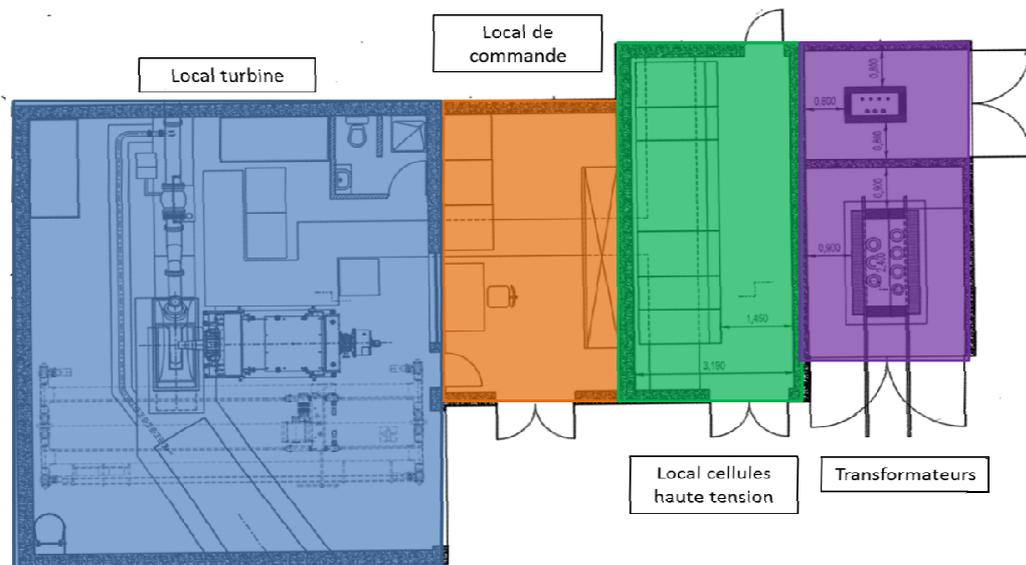
Coupe type conduite horizontale sur support béton

2.6 USINE

2.6.1 DESCRIPTION

L'usine est organisée sur un seul étage et est composée de :

- une salle des machines où est situé le groupe turbo-alternateur et la vanne de pied,
- un local de commande équipé des équipements basse tension et de contrôle commande et d'un bureau,
- un local comportant les cellules Haute Tension,
- un WC et une douche,
- une zone extérieure clôturée contenant le transformateur groupe et le transformateur des auxiliaires.



Locaux de l'usine

La salle des machines de dimensions en plan égales à 8 m x 9,75 m abrite un groupe type Pelton à axe horizontal deux jets, une vanne de pied de type robinet sphérique, des installations auxiliaires (centrale hydraulique centrale de lubrification, circuit de refroidissement d'eau, ...), la ventilation ; un pont roulant permet la manutention des pièces lourdes et la maintenance des machines.

Le local de commande est de dimensions en plan égales à 3,5 m x 6,25 m. Il comprend un automate programmable, la régulation de tension, le relais de protection du groupe de production, un équipement de télégestion, l'atelier d'énergie, l'interface homme-machine pour la commande du groupe.

Le local des cellules haute tension est de dimensions en plan égales à 3,1 m x 7,5 m. Il comporte le porte de raccordement au réseau ainsi que les cellules Haute Tension connectées au groupe de production, comprenant le disjoncteur MTA de groupe et les TC et TT de mesure.

L'usine est située sur une plateforme réalisée à la cote 4 m.

Une porte coulissante laisse une ouverture très large sur la salle des machines depuis l'extérieur. Le pont roulant évoqué ci-dessus permet de manutentionner les équipements livrés à partir des plateaux des camions (remorque positionnée en partie en salle des machines).

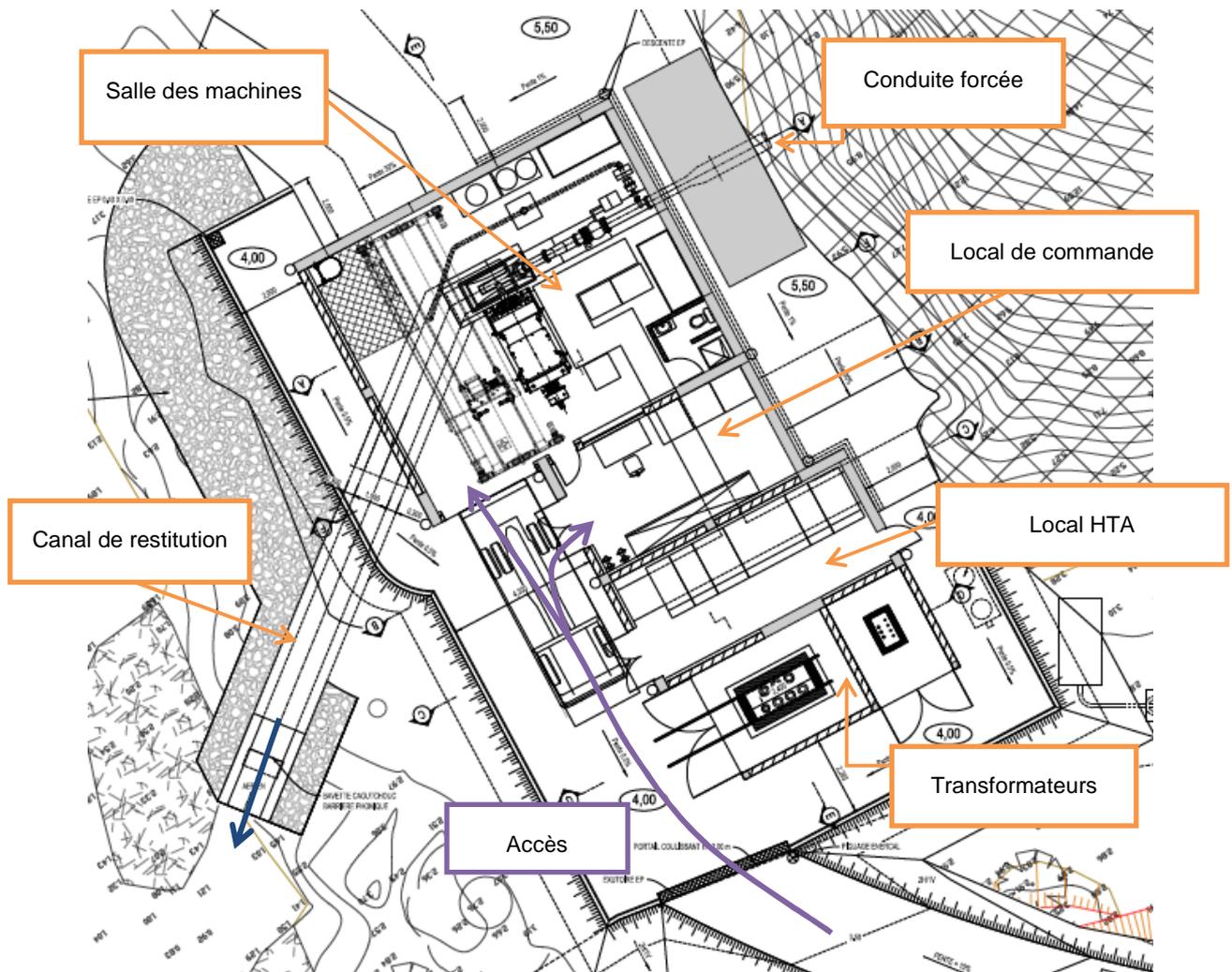
L'accès « piéton » à la centrale est prévu par le local de commande.

Un canal de fuite depuis la sortie inférieure de la turbine jusqu'à la rivière permet la restitution des débits turbinés. Il est recouvert d'une dalle et équipé de barreaux pour éviter le risque de noyade. Une bavette en caoutchouc constitue une barrière phonique à la sortie.

La centrale hydroélectrique de We Paalo est équipée d'un système d'extraction d'air de manière à refroidir le local de la génératrice. L'extraction d'air sera réalisée par deux extracteurs situés en façade. La présence d'atténuateurs de son dans ces conduites nécessite le recours à des sections de gaines supérieures à celles obtenues à partir des critères de vitesses d'air.

Les structures sont prévues en béton armé et en maçonnerie de parpaings pleins.

La proximité des habitations (moins de 30 m), de l'autre côté de la route, impose une isolation acoustique. La structure des murs, portes et encadrement devront permettre une réduction des bruits suffisante pour permettre une atténuation suffisante des bruits émis par la turbine et l'alternateur. Le système d'extraction sera équipé de silencieux acoustiques à absorption au niveau des prises d'air et de l'évacuation. Le toit disposera d'une isolation phonique. De manière générale, l'installation est conçue pour ne pas générer une émergence supérieure aux valeurs fixées par la délibération n°2007-49/APN du 11 mai 2007. Le transformateur de groupe est installé en extérieur à proximité des habitations. Le matériel retenu aura donc un niveau de bruit limité à 65 dBA (valeur issue de consultations constructeur).

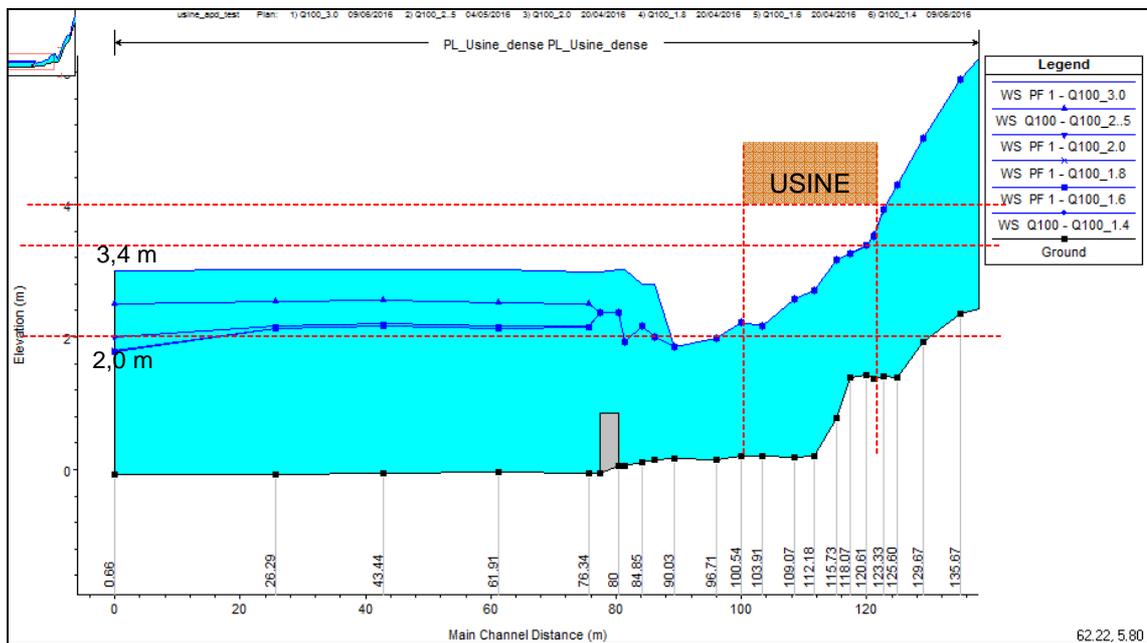


Vue en plan de l'agencement de l'usine

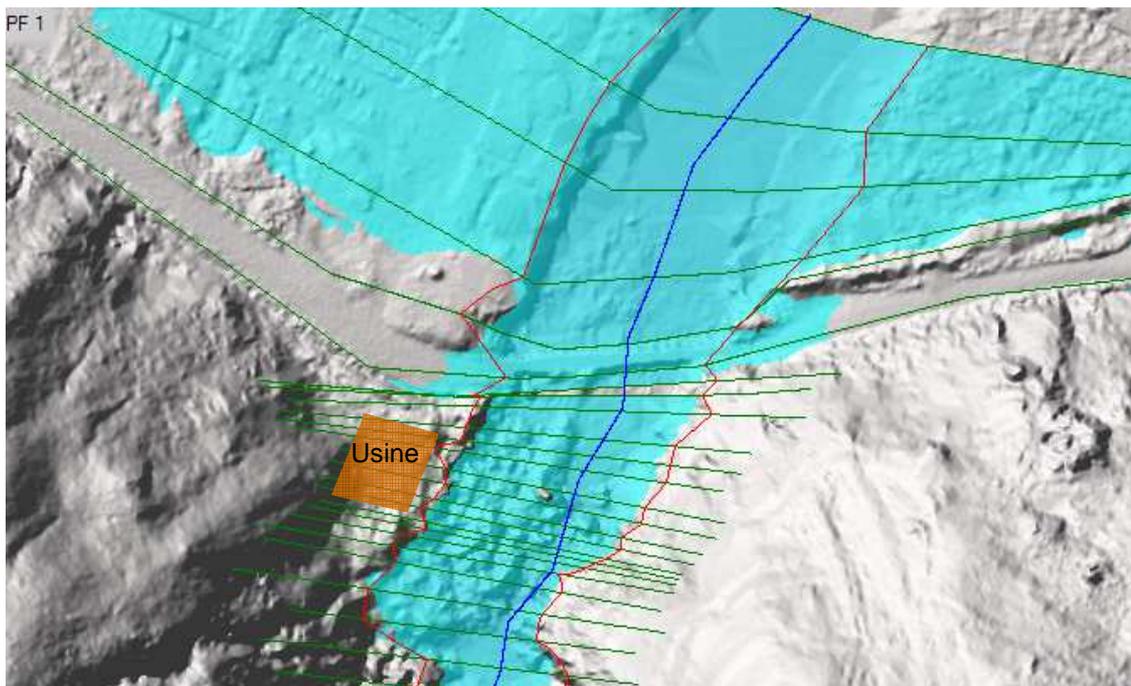
2.6.2 RISQUE INONDATION

Le positionnement de l'usine à proximité de l'embouchure du cours d'eau We Paolo ainsi qu'à une faible altitude vis-à-vis du niveau de la mer (4 m NGNC) la rend vulnérable aux crues et marées.

L'étude hydrologique et hydraulique du site a permis d'établir les hauteurs d'eau atteintes en cas de plus hautes eaux : le cours d'eau We Paolo atteint la cote 3,4 m NGNC au droit de l'usine lors de l'occurrence d'une crue centennale concomitante avec un niveau de mer élevé. Une étude de sensibilité sur cette condition aval montre que jusqu'à une cote de 3,0 m NGNC au moins, le niveau de la mer n'influe pas sur la ligne d'eau en amont du pont. Celle-ci est fixée par le remous engendré par le pont. La surcote engendrée par un phénomène cyclonique est inférieure à 3 m. Cette surcote n'influe donc pas sur le niveau d'eau à l'usine.



Modèle hydraulique 1D - sensibilité à la condition aval pour la crue centennale



Modèle hydraulique 1D - zone inondée Q100

Les équipements sont positionnés hors d'eau en crue centennale.

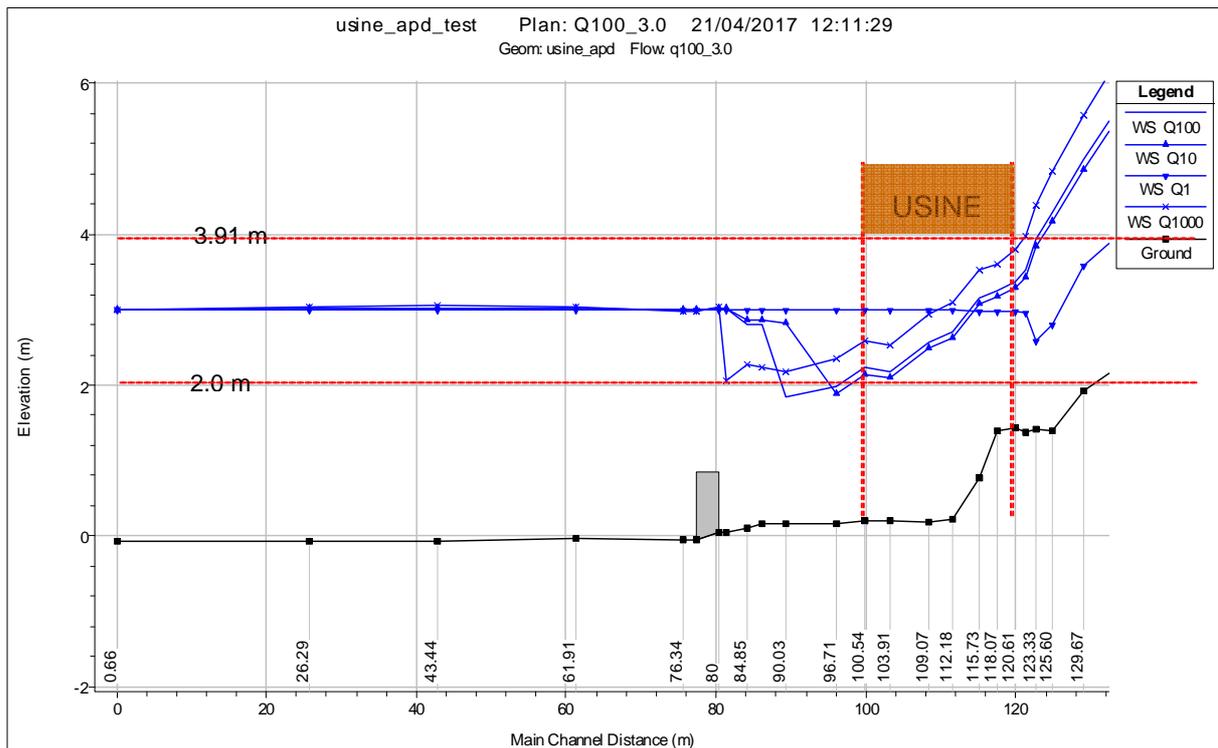
Il est fait l'hypothèse que le débit de la crue de période de retour 1000 ans suit une loi de Gumbel par rapport aux crues de 10 et 100 ans. Le tableau ci-dessous détaille la méthode de calcul et la valeur de la crue de 1000 ans.

Crue	T (ans)	Variable de Gumbel	Débit instantané (m ³ /s)
Q10	10	2.25	149
Q100	100	4.60	298
Q1000	1000	6.91	445

Calcul de la crue de période de retour 1000 ans.

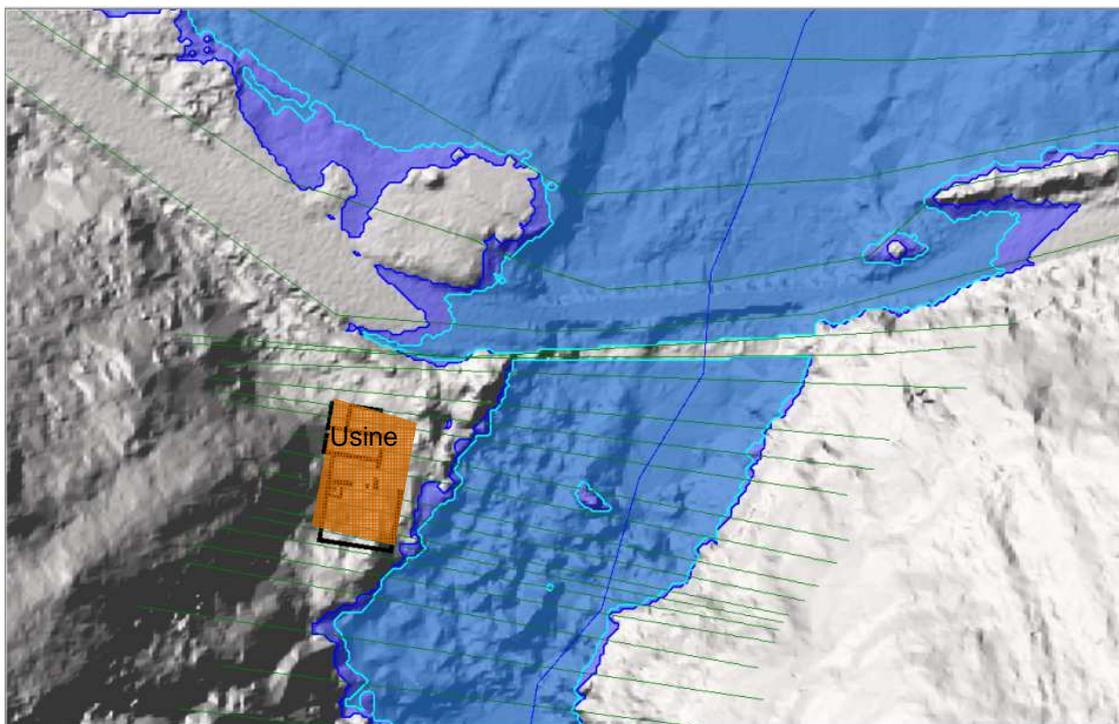
Le débit calculé par cette méthode est très important au regard d'autres méthodes usuelles, toutefois cette approche conservatrice permet de confirmer la mise hors d'eau de l'usine.

Pour la crue millénaire, la hauteur d'eau à l'usine n'est également pas dépendante du niveau de la mer jusqu'à une cote de 3,0 m NGNC au moins (le constat est le même que pour la crue centennale).



Modèle hydraulique 1D – crue de 1, 10, 100 et 1 000 ans au droit de l’usine

Pour la crue millénale, le niveau atteint en crue au droit de l’usine et de la plateforme d’accès est proche de 3,91 m NGNC. L’usine reste hors d’eau dans ce contexte (niveau de la plateforme à la cote 4 m NGC).



Modèle hydraulique 1D - zone inondée Q1000

2.6.3 STRUCTURE DE L'USINE

Le bâtiment de l'usine est en ossature béton armé :

- fondations en béton armé ;
- structure poteaux-poutres en béton armé ;
- remplissage en maçonnerie non porteuse ;
- dalle de toiture en béton armé.

Le contreventement est assuré par :

- les chaînages horizontaux (poutres, dalle de toiture, semelles filantes) et verticaux (poteaux) en béton armé ;
- des voiles en béton armé, au minimum un dans chaque direction orthogonale.

Ces dispositions permettent :

- de reporter les actions horizontales du vent et du séisme sur les éléments transversaux ;
- de satisfaire aux dispositions constructives à appliquer en zone sismique.

La couche superficielle de sol est entièrement purgée (horizon H1 selon le rapport géotechnique d'avant-projet : argile gravelo-sableuse marron grise). Cette couche est remplacée par du remblai de bonne qualité et compactée au maximum.

Au droit des chargements les plus élevés (turbine, alternateur, transformateur), les efforts sont d'abord descendus par un massif en-dessous de la cote 2,50 m NGNC puis diffusés par une fondation béton armé sur le remblai.

Les descentes de charges des voiles sont descendues à la cote 3,50 m NGNC puis reprises par des semelles filantes.

Le radier qui supporte des chargements plus modérés (personnel et équipements mobiles de l'usine) est fondé superficiellement sur le remblai sans connexion avec les massifs ou les semelles afin de prévenir toute fissuration.

2.6.4 PROTECTION CONTRE L'ÉROSION

Une protection en enrochements est préconisée entre le cours d'eau et la plateforme de l'usine.

La protection en enrochements doit résister à une vitesse d'écoulement égale à 6,50 m/s d'après le modèle hydraulique pour la crue centennale. Compte-tenu de cette vitesse importante, les enrochements libres sont à proscrire (diamètre moyen théorique de l'ordre de 1,80 m). Des enrochements bétonnés seront utilisés de la manière suivante :

- Diamètre moyen des enrochements : 0,60 m,
- Epaisseur de la protection : 1,20 m, soit deux couches d'enrochements,

Dans la mesure du possible les blocs rocheux existants seront réutilisés et agencés.

2.6.5 CANAL DE RESTITUTION

La We Paalo au niveau de l'usine et en aval est sous influence de la marée. Les niveaux d'eau dans le cours d'eau dépendent largement du niveau de la mer.

Le rapport hydrologique (cf. 15F-042_RL2 rapport hydrologique) indique que le niveau des plus hautes eaux astronomiques (PHEA) est de 0,819 m NGNC à Hienghène pour un niveau moyen de 0,199 m NGNC (hors cyclone, hors surcote anométrique). En prenant un niveau de mer de 1 m NGNC, la cote d'eau dans la We Paalo à l'axe de la sortie du canal de restitution est de 1,58 m NGNC pour la crue annuelle. L'écoulement dans le canal de restitution n'est pas affecté par ce niveau d'eau.

Il est également vérifié les points suivants :

- Vérification 1 : l'écoulement dans le canal de restitution de la centrale n'est pas affecté pour la combinaison de la crue annuelle (42 m³/s) et un niveau de la mer de 1,5 fois la PHEA (1,50 m NGNC), l'usine turbinant le débit d'équipement,
- Vérification 2 : l'écoulement dans le canal de restitution de la centrale n'est pas affecté pour la combinaison de la crue décennale (167 m³/s) et un niveau de la mer de l'ordre la PHEA (1,00 m NGNC), l'usine turbinant le débit d'équipement,
- Vérification 3 : il y a une marge de 50 cm entre la roue de la turbine Pelton et la cote de la combinaison de référence utilisée pour le calage en altitude de l'usine : crue centennale et niveau de la mer à 3,00 m NGNC, l'usine étant à l'arrêt.

Le dimensionnement du canal de restitution est le suivant :

- Niveau amont du radier sous la turbine : 2,50 m NGNC,
- Niveau aval du radier au niveau de la restitution : 2,00 m NGNC,
- Longueur du canal : 14 m,
- Largeur du canal : 1,00 m,
- Pente du canal : 3,6%.

La vitesse dans le canal de restitution est inférieure à 4 m/s ce qui assure qu'il n'y aura pas de détérioration du béton du canal par l'écoulement.

La hauteur des bajoyers du canal est fixée à 50 cm, soit 10 cm de plus que la hauteur d'eau la plus haute.

Dissipation de l'énergie en sortie du canal de restitution

Le rejet se fait comme indiqué dans la figure ci-dessous :



Le lit de la rivière au droit de la sortie du canal de rejet est constitué de galets, blocs rocheux de diamètre compris entre quelques centimètres et plus d'un mètre et d'une matrice sableuse.

Afin d'éviter la formation d'une fosse d'érosion au droit de la restitution, il est nécessaire de s'assurer que le débit de restitution retrouve une vitesse d'écoulement proche de celle de la rivière naturelle qui présente un fond stable.

La vitesse de l'eau en crue annuelle est comprise entre 4 m/s en amont de l'usine et 1 m/s en amont immédiat du pont. Au droit de la restitution, la vitesse de l'eau peut être approximé linéairement à 1,5 m/s. Les vitesses observées en sortie du canal à pleine charge sont de 3,8 m/s, comparables à celles globalement observées en crue courante à l'amont de l'usine.

Etude des forces tractrices :

Le paramètre de Shields est défini comme suit :

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_w)d}$$

Avec

- τ_0 : $\gamma_w \times R_h \times i$
- γ_w : poids de l'eau (KN/m³)
- γ_s : poids des particules solides (KN/m³)
- R_h : rayon hydraulique (m).
- i : pente de la ligne d'énergie
- d : le diamètre des particules considérées (m)

L'utilisation de ce critère fait appel aux valeurs suivantes :

Granulométrie	Critère de départ d'un grain du fond
uniforme	$\tau^* \geq 0,047$
étalée	$\tau^* \geq 0,138$

Ci-après les résultats du calcul de ce critère à l'aval immédiat du canal de rejet en étiage, avec une section identique à celle du canal, ce qui est une hypothèse conservatrice. Les éléments susceptibles d'être emportés calculés selon ce critère sont ceux de dimension inférieure à 5 cm si on considère que le fond du lit a une granulométrie étalée et inférieurs à 15 cm dans le cas d'une granulométrie uniforme.

	Granulométrie étalée	Granulométrie uniforme
Taille maximale des éléments susceptibles d'être emportés selon le critère de Shield	> 5 cm	> 15 cm

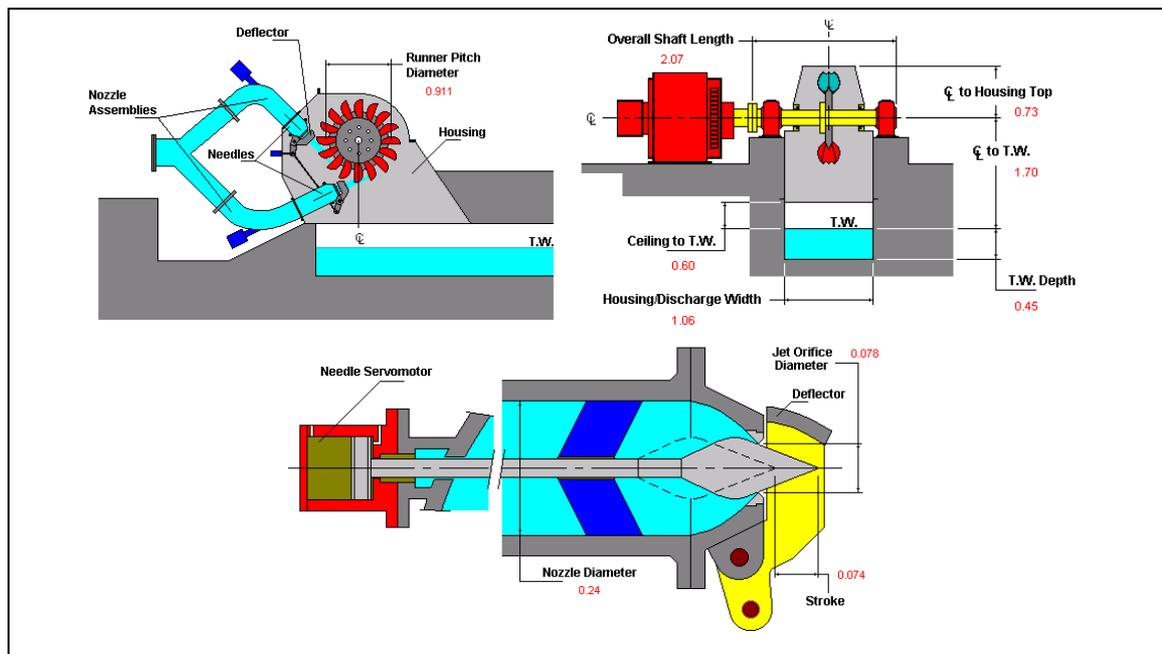
Dans le cas de la rivière de la We Paolo, le fond du lit présente une granulométrie étalée, allant des gravés aux gros blocs. Le fond de la rivière peut être considéré comme stable au droit de la restitution.

L'écoulement est ensuite dispersé sur une partie du lit mineur ce qui conduit à diminuer très rapidement le diamètre des particules pouvant être emportées par le courant.

2.6.6 EQUIPEMENTS MECANQUES ET ELECTRIQUES

Turbine

Au vu des gammes de débit et de pression du projet de We Paalo, une turbine Pelton à 2 jets à axe horizontal sera mise en place.



Schémas de configuration de la turbine retenue

Chaque injecteur est constitué d'une tuyère permettant de former un jet d'eau compact à haute capacité cinétique, et d'un pointeau mobile faisant office d'organe de contrôle du débit. En cas d'arrêt d'urgence de la machine, les jets sont déviés par un ensemble de déflecteurs, de sorte qu'ils n'atteignent pas les augets et que la turbine ne s'emballe pas.

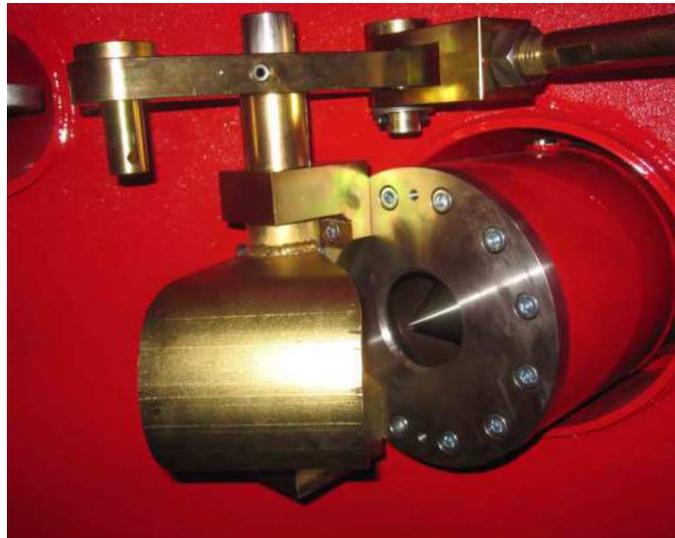
La roue sera réalisée en acier inoxydable et aura approximativement un diamètre de 920 mm (logiciel de calcul TURBNPRO).

Les augets constituent la partie la plus importante de la turbine. Les performances, l'acoustique et la longévité de la machine dépendent de leur bon dimensionnement et de leur forme. Ces éléments requièrent le plus haut degré de technicité. L'acier utilisé est de l'acier inoxydable fortement allié du type G – X5 CrNi 13-4 afin de résister à la corrosion. Ce type d'acier permet notamment d'effectuer des soudures de bonne qualité.

Au nombre de 2, les injecteurs permettront l'admission de l'eau captée sur la roue de la turbine. Ils seront manœuvrés au moyen de vérins hydrauliques double effet. Un accumulateur hydraulique présent sur la centrale hydraulique assurera la fermeture sans énergie des vérins.

Les injecteurs seront alimentés par la même centrale hydraulique que les déflecteurs et la vanne de pied du groupe.

Les déflecteurs permettront l'orientation de l'eau envoyée par les jets. Au nombre de 2 (un pour chaque jet), ils seront manœuvrés à l'ouverture au moyen d'un vérin simple effet commun aux deux déflecteurs et par un système de tringlerie.



Injecteur et déflecteur

La bête de la turbine est en acier mécano soudé. Elle est conçue de manière à être facilement démontable. Une étanchéité mécanique assure l'absence de fuite au niveau de l'arbre de l'alternateur.

Vanne de garde de la turbine

Une vanne de pied du type vanne sphérique avec anneau mobile rétractable, située dans l'usine en amont du groupe et en aval de la manchette d'amenée est prévue avec son organe de manœuvre et son pied support.

Il s'agit d'un organe de sécurité permettant d'isoler la turbine de la conduite forcée. Elle doit pouvoir se fermer de façon autonome, même en l'absence de tension.

L'ouverture de la vanne sera réalisée par un servomoteur hydraulique simple effet alimenté par une centrale oléo hydraulique commune à tous les équipements à commande hydraulique

La vanne sera capable de se fermer sans énergie, au moyen d'un contrepoids, pour couper le débit maximum pouvant transiter par le groupe (débit nominal = 710 l/s), et assurera une fonction de sécurité. Elle permettra d'isoler le groupe, pour sa mise hors d'eau.

La fermeture par contrepoids se fait après la mise à l'évacuation de l'huile contenue dans le servomoteur. L'évacuation de l'huile se fait par un distributeur commandé par manque de tension. Le couple créé par le contrepoids amorce la fermeture qui se poursuit sous l'action du couple hydraulique.

Vanne de vidange

Une conduite est installée au niveau de l'usine de manière à permettre la vidange de la conduite forcée. Cette conduite débouche dans le canal d'évacuation de la turbine. Elle est dimensionnée de manière à permettre la vidange en moins de 12h.

Une vanne de sectionnement, de type robinet à boisseau sphérique (DN150 ; PN64), est installée à l'amont de la conduite de vidange, directement après le piquage sur la conduite forcée. Elle se manœuvre manuellement.

Alternateur

La turbine est couplée à un alternateur.

Les caractéristiques principales de l'alternateur sont les suivantes :

Type :	alternateur synchrone
Axe :	horizontal
Tension nominale :	5,5 kV
Tension d'isolement :	7,2 kV
Puissance :	2990 kW / 3300 kVA
Fréquence :	50 Hz
Vitesse de rotation :	1000 tr/min
Vitesse d'emballement :	1500 tr/min
Durée de résistance à l'emballement garantie :	5 minutes
Classe d'échauffement :	F
Classe d'isolement :	H
Indice de protection :	IP 23
Refroidissement :	ventilé à air (IC01)
Cos(φ) :	0,9
Rendement à pleine charge :	95%
Types de palier :	lubrification à huile

Transformateur

Le transformateur de puissance de groupe est prévu pour être installé en extérieur. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

Puissance apparente :	3 500 kVA
Tension assignée au primaire en charge :	33 kV
Tension d'isolement au primaire :	36 kV
Tension d'essai à fréquence industrielle au primaire	70kV
Tenue au choc de foudre au primaire:	170kV
Tension assignée au secondaire en charge	5,5 kV
Tension d'isolement au secondaire :	7,2 kV
Tension d'essai à fréquence industrielle au secondaire	20kV
Tenue au choc de foudre au secondaire:	60kV
Fréquence assignée :	50 Hz
Tension de court-circuit :	7%
Type d'isolement:	diélectrique à bain d'huile
Type de refroidissement :	naturel (ONAN)
Couplage :	Dyn11
Prise de de réglage :	+/- 2,5% et +/-5%

Le transformateur est installé sur une d'une fosse maçonnée de rétention d'huile. Cette fosse de rétention est d'une capacité suffisante pour permettre de contenir 125% de l'huile contenue dans le transformateur. Un système de siphon permet l'évacuation des eaux pluviales de la fosse vers le déshuileur. Un caillebotis au sommet de la fosse permet l'installation d'un lit de galets.

Le transformateur étant installé en extérieur et à proximité d'habitation, une attention particulière est portée sur le niveau de bruit de l'équipement. Des consultations fournisseurs ont permis de vérifier qu'il était possible de limiter ces niveaux de bruit à 63 dB à 0,3m, ce qui est satisfaisant au vu des contraintes du site.

Transformateur auxiliaire

Un transformateur auxiliaire 33kV/400V permettra d'alimenter les auxiliaires alternatifs de la centrale par soutirage.

Le transformateur est installé sur un bac de rétention d'huile. Ce bac de rétention est d'une capacité suffisante pour permettre de contenir 125% de l'huile contenue dans le transformateur. Un robinet en partie basse permet l'évacuation des eaux pluviales. Un caillebotis au sommet du bac permet l'installation d'un lit de galets.

Automate, périphériques de communication et télétransmission

Le fonctionnement manuel et automatique de la turbine hydroélectrique et de ses auxiliaires sera basé sur un automate programmable industriel.

En plus de l'automate programmable seront installés sur les châssis de contrôle commande du groupe de production :

- Des relais de protection numériques communicants,
- Une interface homme machine (IHM) reliée à l'automate,
- Des voyants et indicateurs,
- Des relais de mesure spécifiques pour la sécurisation de certaines informations,
- Des interfaces spécifiques de traitement du signal,
- Des relais électromécaniques TOR pour le découplage des sorties automate avant de polariser les contacteurs de puissance.

Cette configuration, très courante dans ces types d'installations, est considérée fiable par les caractéristiques de l'automate.

En plus du châssis de contrôle commande, le local commande de l'usine comprendra :

- Le châssis de distribution des différentes tensions auxiliaires (BT et TBT)
- Le châssis d'excitation
- L'atelier d'énergie
- Le superviseur usine.

L'Interface Homme-Machine (IHM) est assurée par un écran semi tactile industriel 15" couleur relié à l'automate via le réseau Ethernet. Il permet de commander les différents organes de la centrale au travers des modes AUTO et MANU.

Cet IHM est implanté dans un coffret dans le local turbine. De cette manière, l'opérateur dispose d'un visuel sur les différents organes de la centrale lors de leur manœuvre.

La centrale est télé-surveillée depuis le dispatching d'ENERCAL.

Protection contre l'incendie

Des détecteurs incendie seront installés dans la centrale de We Paalo (dans le local turbine, dans le local de commande, dans le local HTA et à proximité de chaque transformateur).

La gestion incendie sera gérée au moyen d'une interface dédiée. Cette interface disposera a minima de 5 zones de détection incendie. Elle sera également équipée d'une alimentation autonome lui permettant de fonctionner même lorsque la centrale est hors tension.

La centrale comportera tout le matériel requis par les normes en vigueur concernant la protection incendie (extincteurs, boîte incendie...).

2.7 CHEMINS D'ACCES

2.7.1 VARIANTES ETUDIEES

Trois versions de piste ont été étudiées :

- Une version n°1 principalement en déblai,
- Une version n°2 en remblai / déblai,
- Une version n°3 en remblai / déblai jusqu'à la cote 190 m NGNC.

Le tracé de la piste dans les deux premières variantes est similaire.

Le tableau ci-après présente ces caractéristiques pour les variantes n°1 et n°2.

Caractéristiques	Valeurs variante 1 et 2	Valeurs variante 3 (retenue)
Longueur totale de la piste	6071 m	2 200 m
Altitude min	2 m	2 m
Altitude max	531 m	190 m
Pente maximale	14 %	
Pente moyenne	8,71 %	

Caractéristiques générales de la piste d'accès pour les différentes variantes

Dans la variante n°1, l'intégralité de la piste d'accès est réalisée en déblai, aucun remblai n'est à réaliser afin d'éviter les problèmes de stabilité.

La variante n°2 est quant à elle réalisée en déblai / remblai afin de limiter au maximum le volume d'excavation et d'obtenir une piste d'accès qui s'accommode mieux à la topographie réelle du site. Le désavantage de cette variante est la nécessité de réaliser des zones en remblai de hauteur relativement importante (entre 1 et 5 m dans certaines zones).

La variante n°3 est identique à la variante 2 mais la piste est arrêtée à la cote 190 m NGNC. Il s'agit de la variante retenue.

Le tableau suivant résume les volumes de terrassement pour les deux variantes.

	Variante n°1 : déblai	Variante n°2 : déblai / remblai	Variante n°3 (retenue) : déblai / remblai Piste raccourcie (cote 190)
Volume d'excavation (m ³)	126 180 m ³	64 130 m ³	26 100 m ³
Volume de remblai (m ³)	400 m ³	5 000 m ³	1 040 m ³

Synthèse des volumes de terrassement

Pour les variantes 1 et 2, la pente des talus est différente selon les zones, elle dépend principalement des conditions topographiques de la zone ainsi que des conditions géotechniques pressenties dans la zone.

Afin de limiter le volume d'excavation et la hauteur des talus pour ces deux variantes, les pentes choisies peuvent être raides au maximum 0,5H/1V (63°). A ce stade de l'étude, à la vue des reconnaissances géotechniques disponibles, il est pressenti que l'intégralité des excavations devra être réalisée dans des terrains détritiques (colluvions fins ou chaos de blocs avec matrice fine) ou dans du rocher fortement altéré (Highly Weathered).

Pour assurer la stabilité de ces talus dans les variantes 1 et 2, des ouvrages de soutènement devront être réalisés. La solution qui paraît être la plus adaptée est la réalisation de murs en gabions. En effet ces murs sont relativement simples à mettre en place et ont l'avantage d'être drainants ce qui favorise les conditions de stabilité du talus.

La figure suivante présente une coupe type avec un mur en gabions.

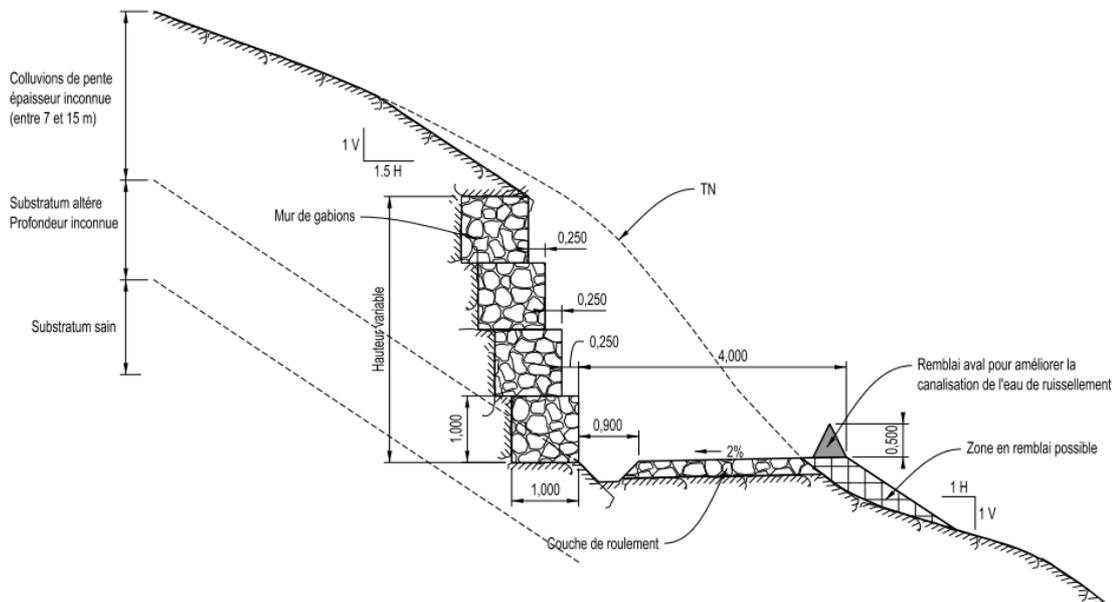


Schéma de principe du mode de soutènement préconisé

A noter que lors de l'excavation des blocs instables pourront être rencontrés. Afin d'éviter une excavation massive des talus, il est recommandé de réaliser dans un premier temps une purge intégrale des talus et installer au cas par cas des ancrages passifs sur les blocs métriques ou pluri métriques demeurants instables.

La variante 3 limite la réalisation de la piste à la partie basse du projet, jusqu'à la cote 190 m NGNC. Dans cette zone les conditions topographiques et donc de terrassement sont plus favorables que sur la partie supérieure de la piste. En effet les talus sont auto-stables avec une pente de 2H/1V, aucun ouvrage de soutènement n'est prévu. La grande majorité de l'excavation sera réalisée dans des colluvions de pente (terrain meuble).

Les zones en remblai sont relativement faibles (environ 1000 m³).

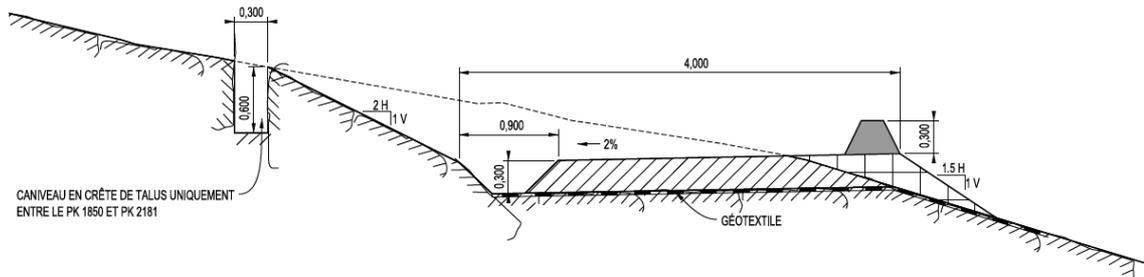
La version qui paraît la plus appropriée économiquement est une variante mixte avec une piste d'accès plus courte et l'utilisation de moyens hélicoptés (variante 3).

L'accès à la prise d'eau est constitué d'une piste jusqu'au point PK 2200 à la cote 190 m NGNC et l'utilisation de moyens hélicoptés.

2.7.2 DESCRIPTION DE LA PISTE RETENUE

L'accès à la prise d'eau est constitué d'une piste jusqu'au point PK 2200 à la cote 190 m NGNC.

Afin de réduire l'emprise de la piste, il s'agit d'une voie simple (largeur 4,00 m). Deux aires de croisements sont prévues afin de permettre une meilleure fluidité de la circulation des engins de chantier sur la piste.

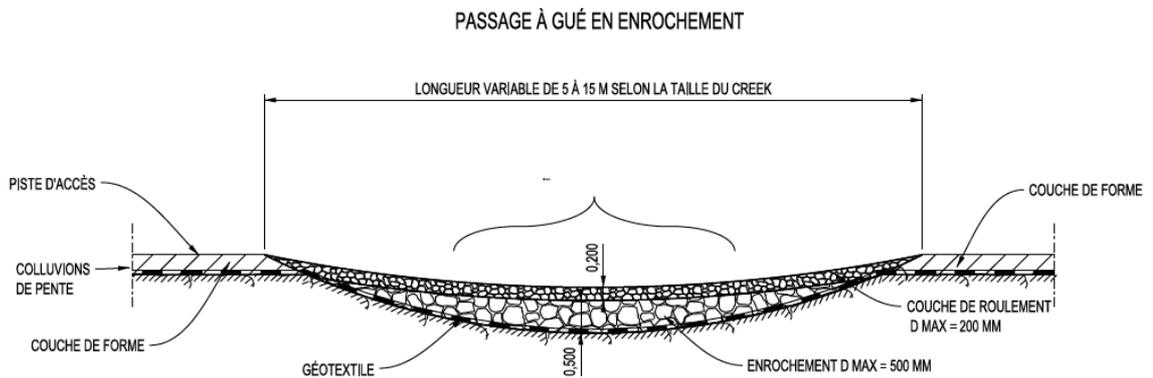


Coupe type de la piste

2.7.2.1 Traversées de creeks

Sur l'intégralité de la piste d'accès, 7 traversées de creek ont été observées lors des différentes visites. Une importance toute particulière doit être apportée à ces points sensibles d'un point de vue environnemental. L'usage de passages busés a été écarté afin d'éviter les problèmes d'obstruction par des embâcles. Le système de « passage à gué » a été privilégié pour l'intégralité du site de Paalo.

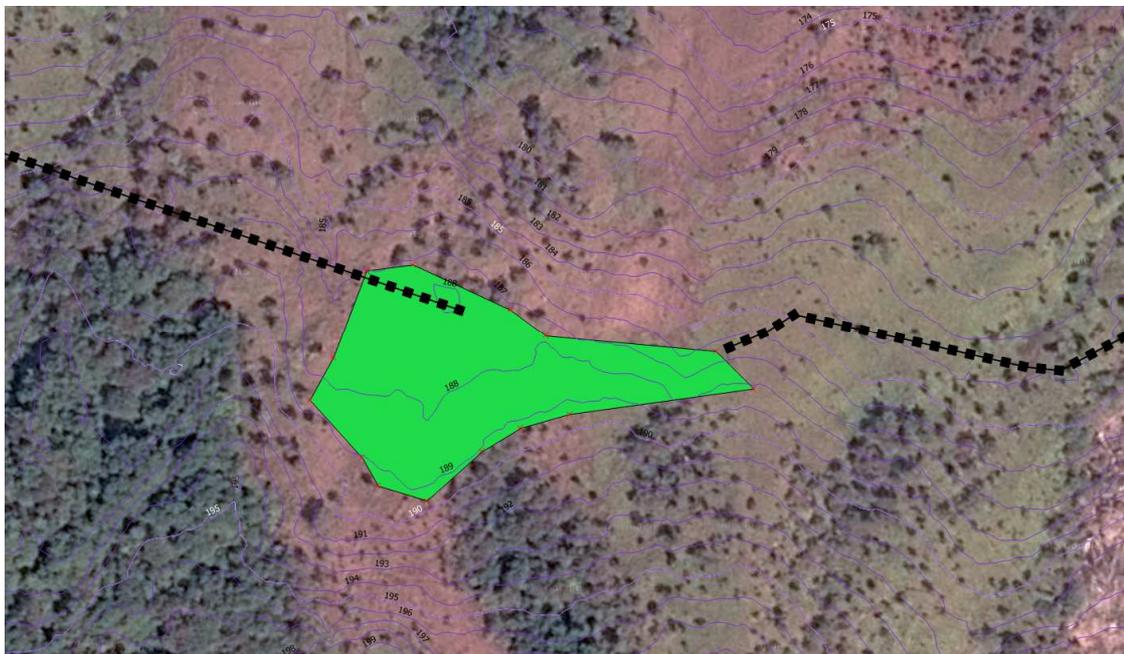
Les franchissements seront composés d'enrochements de taille compatible avec la vitesse d'écoulement du creek. La longueur du passage est variable selon la largeur du creek traversé. En première approche la profondeur envisagée est de 1 m mais elle pourra être modulée selon l'écoulement réel afin de ne pas impacter le fil d'eau en régime permanent et en crue.



2.7.2.2 Aire de retournement et plateforme de travail

Le projet prévoit la réalisation de deux aires de croisement et d'une plateforme de travail. Ces aires et la plateforme seront intégralement revêtues comme le reste de la piste. Une pente sera aménagée vers l'intérieur de la piste afin de canaliser les écoulements vers les caniveaux de la piste.

La plateforme de travail sera intégralement réalisée en déblais, la forme finale de la plateforme étant déterminée au stade des études d'exécution en fonction de la topographie précise des lieux. Les aires de retournement seront réalisées en déblai/remblai comme le reste de la piste, ces éléments seront définitivement arrêtés au stade des études d'exécution.



Forme prévisionnelle de la plateforme de travail en haut de piste.

2.7.2.3 Gestion des eaux de ruissellement

La bonne gestion des eaux de ruissellement permet de réduire l'impact sur l'environnement et d'assurer la pérennité de la piste d'accès.

L'objectif des dispositifs est double :

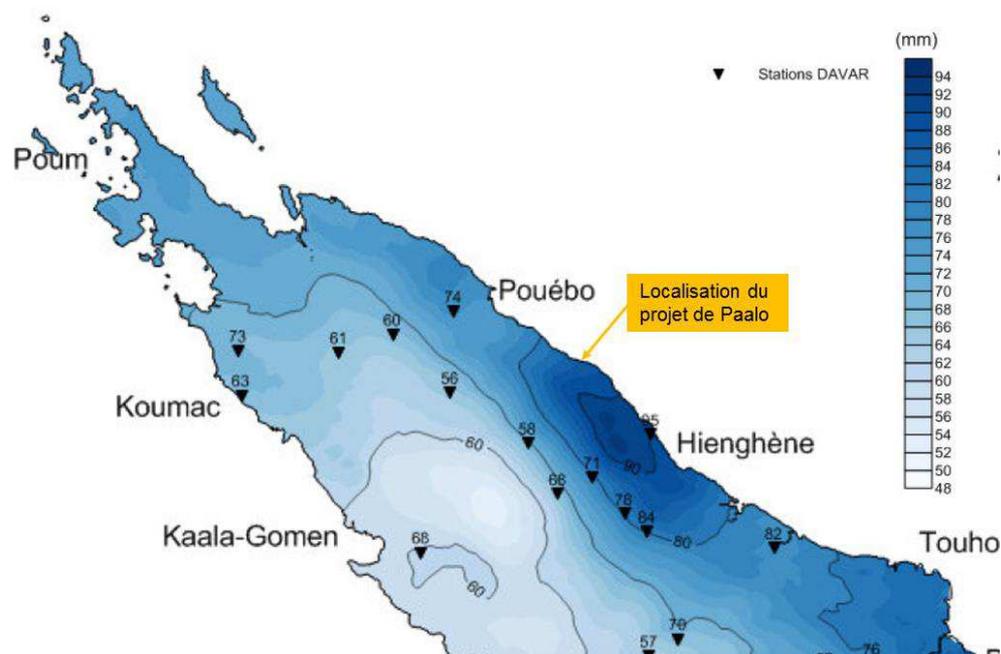
- Eviter une érosion massive des talus d'excavation de la piste,
- Eviter le rejet d'eau chargée en particules fines dans la mer.

Pour cela trois types d'installations différentes sont prévus :

- Un caniveau en pied de talus,
- Un caniveau en crête de talus sur les 350 ml amont,
- Deux bassins de décantation temporaires pour faire décanter les particules fines.

Estimation des volumes de ruissellement

Dans le cas de l'étude de Paalo, il a été décidé de dimensionner les bassins de rétention temporaire des eaux de pluies avec une pluie de durée de 2 heures et une période de retour de 2 ans.



**Intensité Durée Fréquence de la pluviométrie sur 2h pour une période de retour de 2 ans
(« Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle Calédonie »,
DAVAR, novembre 2011)**

D'après cette carte pour le secteur de Paalo, la pluviométrie pour un évènement de 2h avec une période de retour de 2 ans est de 85 mm.

Afin de dimensionner de manière la plus fiable les volumes de ruissellement mis en œuvre au niveau de la piste d'accès, une estimation de la surface des bassins versants interceptés par la piste a été réalisée.

Trois différents types de surfaces, associés de coefficients de ruissellements ont été délimités :

- Les zones végétalisées naturellement non affectées par les talus de la piste mais dont le bassin versant est interceptés par la piste (ruissellement 0,8),
- Les surfaces correspondant aux talus excavés et à la piste (ruissellement 0,5),
- Les zones drainées par les creeks existant.

Lors d'un évènement pluvieux de 85 mm en 2h, potentiellement 7609 m³ d'eau sont chargées en particules fines et nécessitent un traitement avant d'être rejeté dans les cours d'eau existants.

Ces valeurs sont conservatives.

Canalisation des eaux chargées

Afin de permettre une gestion des eaux au niveau de la piste d'accès, il est nécessaire d'assurer une bonne canalisation des eaux de ruissellement. Pour cela, des caniveaux en béton sont mis en place sur environ 70 % du linéaire totale de piste. Certains tronçons dans un contexte rocheux ne nécessitent pas de caniveau bétonné.

La section proposée est trapézoïdale avec les caractéristiques suivantes :

- Largeur à la base : 30 cm,
- Largeur en tête : 90 cm,
- Hauteur : 60 cm.

La pente est de l'ordre de 8,7 % en moyenne sur les tronçons étudiés.

La débitance maximale du caniveau est de 1,95 m³/s (avec une hauteur d'eau de 55 cm), ce qui permet au bassin de filtration d'absorber et de traiter l'ensemble du débit contenu dans les caniveaux.

Filtration des eaux chargées

Pour enlever les particules supérieures à 80 microns, il est proposé de réaliser une filtration à l'aide d'un géotextile au niveau d'une digue en enrochement. Deux ouvrages sont prévus.

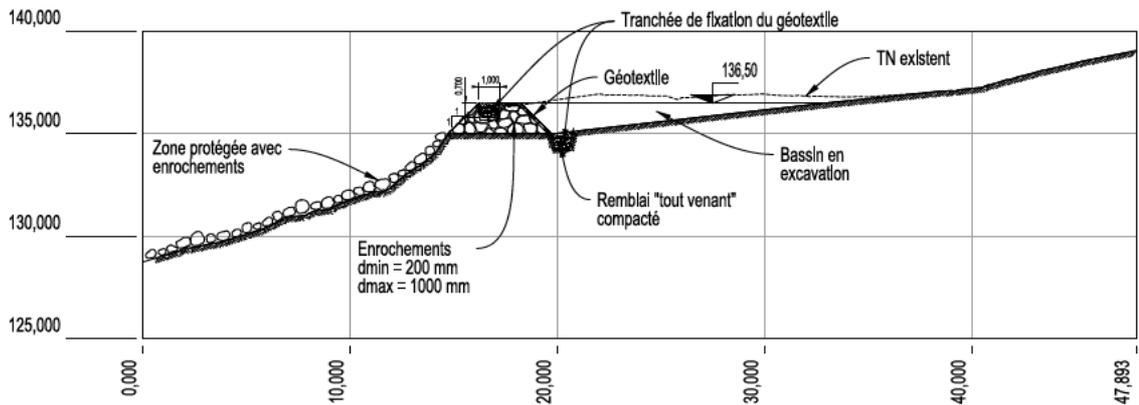
L'ouvrage filtreur est composé d'une digue de 2 m de hauteur maximum en enrochement pour la partie filtrante.

En pied aval de l'ouvrage, un tapis d'enrochements sera disposé jusqu'à l'exutoire final dans le creek naturel.

Un matériau de transition sera disposé entre la digue en enrochement et le géotextile afin d'éviter les problèmes de poinçonnement du géotextile. Ce matériau devra néanmoins être très perméable.

Cet aménagement a l'avantage d'éviter un stockage prolongé d'un volume d'eau important. En effet la perméabilité de l'ouvrage étant très élevée et la section de grande dimension, la mise en charge de l'ouvrage n'est pas possible sauf en cas de colmatage complet du système de filtration.

La figure ci-dessous présente une coupe type de l'ouvrage de filtration proposé.



Coupe type du bassin de filtration n°2

En prenant en compte les volumes à stocker pour l'évènement de référence, il est possible d'évaluer le débit moyen. De manière sécuritaire il a été décidé de prendre un débit de pointe égal à 3 fois le débit moyen (coefficient de forme relatif aux caractéristiques du bassin versant) de l'évènement de référence (pluie de période de retour 2 ans, 2 heures).

Le tableau suivant présente les débits entrant dans les différents bassins.

Bassins	Volume à stocker en 2H (m³)	Q _{moyen} pour l'évènement (m³/s)	Q _{pointe} supposé (m³/s)
Bassin N°1	3995	0,55	1,66
Bassin N°2	3614	0,5	1,51

Débit entrant dans les différents bassins

2.7.3 ACCES A LA CONDUITE FORCEE

L'amenée sur site des éléments nécessaires à la conduite forcée sera réalisée par camion depuis le port de Nouméa où arriveront les containers. L'amenée des conduites sur le linéaire du tracé sera effectuée par hélicoptère

	Transport
Amenée en Nouvelle-Calédonie	Containers maritimes
Amenée sur site des travaux	Camions
Amenée sur tracé conduite	Piste jusqu'à la cote 190 m NGNC et Hélicoptère Ecureuil et Bell
Mise en place des tronçons de conduite	Pelle à chenille et/ou pelle araignée

Acheminement des conduites fonte

Des replats temporaires sont aménagés à la pelle à proximité immédiate du tracé de la conduite tous les 25 m environ permettant le stockage de 4 tuyaux hélitreuillés en attente d'être posés en tranchée. Cela permet d'optimiser le temps d'immobilisation de l'hélicoptère avec un approvisionnement effectué en début de chantier.

2.7.4 ACCES PRISE D'EAU EN EXPLOITATION

L'accès du personnel après travaux pour la maintenance sera effectué à pied depuis la fin de la piste d'accès (350 m de dénivelé), ou bien en hélicoptère, jusqu'à la berge de la We Paalo au niveau du bassin de mise en charge.

La descente dans le lit de la rivière sera ensuite possible grâce à un système d'escalier sécurisé depuis la plateforme de travail jusqu'au bassin de mise en charge.

2.7.5 ACCES USINE EN EXPLOITATION

L'accès à l'usine se fait depuis la route provinciale existante par une rampe d'accès à 10 % de pente. Cette rampe présente une largeur de 4 m. Elle est recouverte d'un enrobé afin d'assurer sa pérennité.

Le fossé franchi par la rampe d'accès est busé pour maintenir son fonctionnement. Le diamètre des buses est choisi équivalent à la profondeur du fossé. Deux buses sont installées dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Diamètre : 300 mm
- Fil d'eau amont : 1,96 m NGNC
- Fil d'eau aval : 1,91 m NGNC
- Longueur : 15 m

3 FICHE RECAPITULATIVE DE L'AMENAGEMENT DE WE PAALO

Les caractéristiques principales du projet de We Paalo sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

	We Paalo
Débit d'équipement	0,71 m ³ /s
Débit réservé	0,0225 m ³ /s
Diamètre conduite	DN 500
Longueur de conduite	1680 ml
Cote de la prise d'eau	538,8 m
Cote du plan d'eau à la chambre de mise en charge	535,3 m
Cote axe turbine	4,6 m
Cote restitution	1,5 m
Hauteur de chute brute maximale	537,3 m
Charge brute à l'axe de la turbine	530,7 m
Hauteur de chute nette au débit d'équipement	498,8 m
Puissance maximum brute (PMB)	3696 kW
Puissance électrique installée	2991 kW
Productible annuel	7,081 GWh

Fiche récapitulative du projet