



INSTALLATION D'UNE PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE SUR LE RESEAU D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE DE LIDDES

ETUDE DE FAISABILITÉ

Rapport final

Auteurs

MHyLab

En Platé, 1354 Montcherand, info@mhylab.com, www.mhylab.com

BTEE, Bureau de Travaux et d'Etudes en Environnement

Ancien Moulin - 1945 Liddes, info@btee.com, www.bureaubtee.com



Date: 20.11.2006

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

Tél. +41 31 322 56 11, fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

Responsable OFEN: bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Numéro de projet: 101634

Le ou la mandataire de l'étude est seul(e) responsable de son contenu.



Table des matières

Résumé	4
Introduction	5
Description générale du projet	5
Données de base	5
Hydrologie	5
Mesures des débits des sources d'Aron	5
Débits moyens des sources d'Aron	6
Débit d'équipement	6
Description de l'aménagement et dénivellation exploitable	7
Conduites et chute nette	9
Calcul de la chute nette	9
Choix des diamètres internes des conduites	9
Dimensionnement préliminaire du turbogroupe	9
Calcul de la production	10
Energie hydraulique brute du site	10
Production électrique	11
Etude économique comparative des variantes retenues	14
Répartition des investissements	14
Calculs économiques pour le projet Energie	14
Calculs économiques dans le cas d'un crédit LIM	17
Principales caractéristiques de la variante finale	18
Description technique de la variante retenue	20
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	20
Turbine	20
Vanne	20
By-pass	20
Alternateur	21
Contrôle commande	21
Raccordement	22
Sécurité	22
Intégration du turbogroupe au site	22
Conclusions, remarques et suggestions	22
Programme de travail	22
Annexes	23



Résumé

Le réseau d'eau potable ne pouvant subvenir aux besoins de la commune de Liddes, un projet d'extension de ce réseau avec le captage des sources d'Aron combiné à l'étude du turbinage a été mis en route.

Deux tracés de conduite ont été proposés, correspondant à deux emplacements pour le local de turbinage, avec une restitution du trop-plein dans le torrent d'Aron. Alors que les deux variantes sont équivalentes en terme de production électrique, les coûts de raccordement entraînent le choix du local de turbinage le plus proche du réseau électrique de la commune.

Ainsi, la solution retenue correspond à un turbogroupe Pelton à 1 injecteur, de 18 l/s de débit nominal pour une chute nette de 377 m et une puissance électrique de 54 kW. La production électrique escomptée s'élève à 281'000 kWh/an, pour un prix de revient de 12.6 cts/kWh.



Introduction

En juillet 2005, dans le cadre de Suisse Energie dans les Infrastructures, a été réalisée une première analyse sommaire de faisabilité pour l'installation de petites centrales hydrauliques sur les réseaux d'eau de la commune de Liddes. Cette étude réalisée par MHyLab a montré que le turbinage des sources d'Aron s'avérait être techniquement et économiquement encourageant.

En mai 2006, le bureau BTEE, pour la partie génie civil, et MHyLab, pour la partie électromécanique ont été mandatés par la Commune de Liddes dans le but d'affiner les possibilités de turbinage et de déterminer une solution optimale d'un point de vue technico-économique et environnemental.

Description générale du projet

Une séance de lancement comprenant une visite du site a eu lieu le 25 avril 2006.

Actuellement, le réseau d'eau potable de la Commune de Liddes ne répond pas aux besoins de tous les consommateurs, vu les faibles débits disponibles. En particulier, les villages de Chandonne, Fontaine-Dessus, Rive-Haute et Fontaine-Dessous connaissent des problèmes d'alimentation en eau et font l'objet de projets d'extension, ce qui a donné lieu à plusieurs études, comme celles effectuées notamment par le bureau BTEE¹ entre janvier 2003 et janvier 2005.

Ainsi, dans la Forêt du Revers, deux sources intéressantes ont été repérées, affluents mineurs du torrent d'Aron, appelées source 1 d'Aron et source 2 d'Aron.

L'objectif est donc de capter et turbiner ces deux sources, en rejetant le trop-plein dans le torrent d'Aron.

Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	g	m/s ²	9.802
Température de l'eau	T _{eau}	°C	10
Masse volumique de l'eau à 10°C	ρ	kg/m ³	1000.2

HYDROLOGIE

Mesures des débits des sources d'Aron

Les sources d'Aron 1 et 2 ont fait d'abord l'objet de mesures de débits entre décembre 2003 et décembre 2004, à raison d'un à deux prélèvements ponctuels par mois, réalisées par le bureau BTEE. Ces mesures ont été reprises en mai 2006 de façon hebdomadaire.

Il est à noter que la source 1 est la plus débitante, et couvre en moyenne 80 % du débit total.

Il apparaît que les mesures de 2006 sont bien supérieures à celles de 2004 (voir Figure 1), ce qui s'expliquerait notamment par:

- la différence entre les fréquences des prélèvements pour les deux années,
- l'éventuel effet rétroactif de l'année 2003.

—

¹ Recherche d'eau potable pour l'alimentation du village de Chandonne, janvier 2003, Recherche d'eau potable pour l'alimentation de la zone du Chapelet, septembre 2003, Recherche d'eau potable dans la Combe d'Aron pour l'alimentation du village de Chandonne, octobre 2003, Sources de la Forêt du Revers, janvier 2005, rapports établis par BTEE: Bureau de Travaux et d'Etudes en Environnement, Liddes



Débits moyens des sources d'Aron

Afin d'obtenir une courbe des débits classés représentative du site, il est nécessaire de transposer les débits mesurés en 2003, 2004 et 2006 sur une période hydrologique d'au moins 10 années.

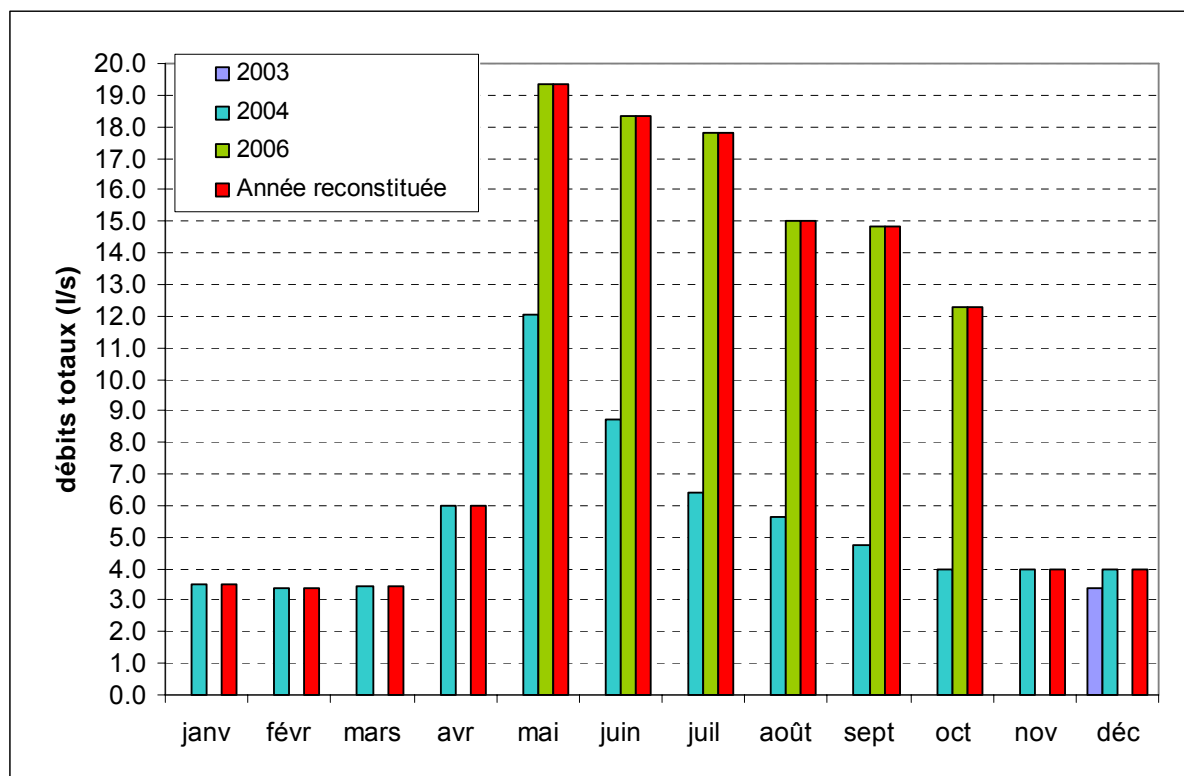


Figure 1. Bilan des débits moyens pour les années 2003, 2004 et 2006, et année reconstituée

Pour ce faire, les débits de la Drance de Bagnes - Le Châble (coordonnées 582'550/103'270), cours d'eau à proximité des sources, sont disponibles depuis 1957. Ce cours d'eau étant passablement régulé par les centrales hydrauliques, aucune corrélation mensuelle fiable ne peut être établie. Par contre, il est possible de replacer les volumes annuels de 2003, 2004 et 2006 sur une année hydrologique. Ainsi, l'année 2003 est bien une année sèche (avec un facteur de corrélation de 1.13), tandis que 2004 et les 8 premiers mois de 2006 s'avèrent être dans la tendance (facteurs de corrélation respectifs: 1.05 et 1.04).

L'application de ces facteurs de corrélation à chaque débit mensuel moyen n'étant pas fiable, c'est sur les débits bruts, en privilégiant ceux de 2006, que se basera l'étude. Il est à noter, par ailleurs, que cette procédure est prudente.

Les débits mensuels moyens bruts sont montrés sur la Figure 1, tandis que la Figure 2 donne la courbe des débits classés pour les sources 1 & 2 d'Aron.

Débit d'équipement

A ce stade de l'étude, le débit résiduel n'est pas pris en compte. Lié au captage des sources pour l'eau potable, il sera déterminé par le bureau BTEE, responsable des aspects environnementaux.



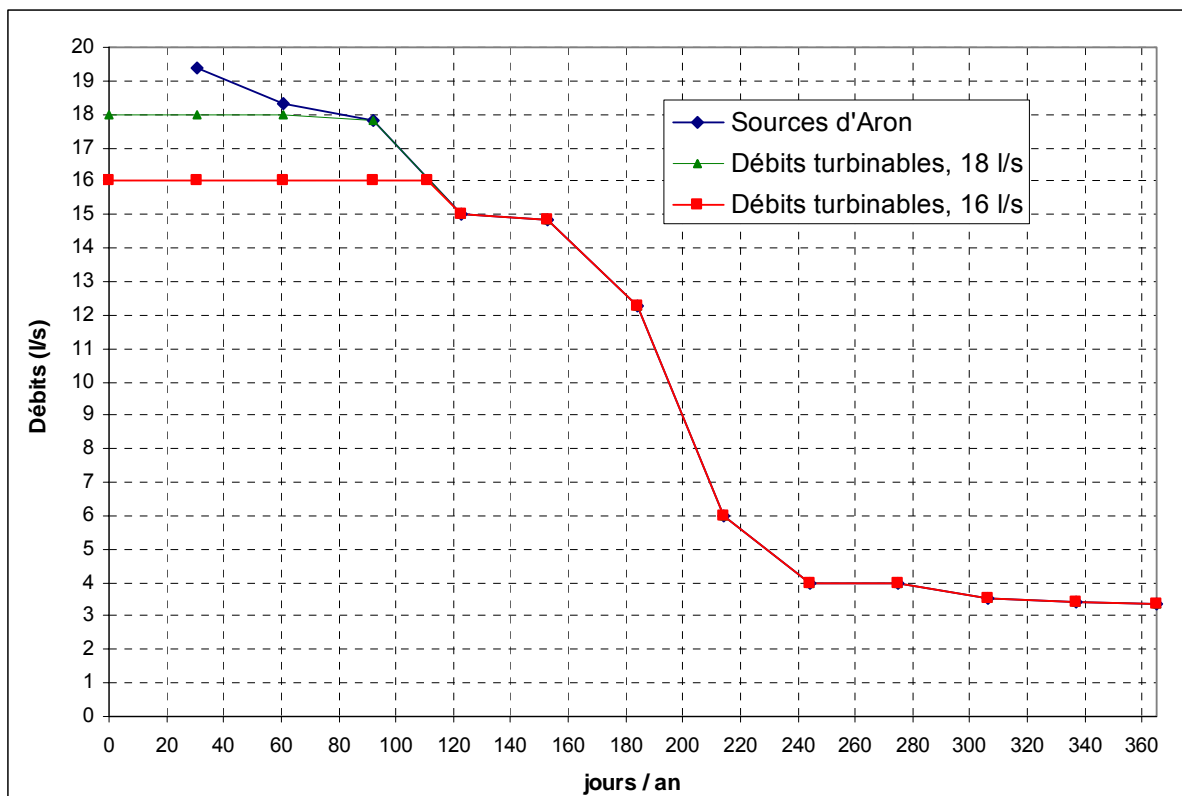


Figure 2. Courbe des débits classés pour les sources d'Aron et des débits turbinables pour deux variantes de débit d'équipement

Vu la courbe des débits classés disponibles, nous préconisons l'étude de deux variantes:

- variante A, avec un **débit d'équipement de 16 l/s, atteint ou dépassé plus de 110 jours par an,**
- variante B, avec un **débit d'équipement de 18 l/s, atteint ou dépassé plus de 90 jours par an.**

Ce choix de débit n'entrave pas le turbinage des plus faibles (le minimum relevé étant de l'ordre des 3 l/s), la turbine fonctionnant au moins jusqu'au 10 % du débit d'équipement, soit ici 1.6 l/s pour la variante A et 1.8 l/s pour la variante B.

DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT ET DÉNIVELLATION EXPLOITABLE

S'agissant d'un nouveau captage pour l'alimentation en eau potable de Chandonne, toute l'infrastructure est à créer. Sa définition est déterminée par BTEE, en collaboration avec MHyLab.

La Source 1 d'Aron captée à 2'050 m d'altitude sera amenée dans une conduite à écoulement libre jusqu'à la chambre de captage de la source 2 d'Aron située à 1'950 m d'altitude (cf. annexes).



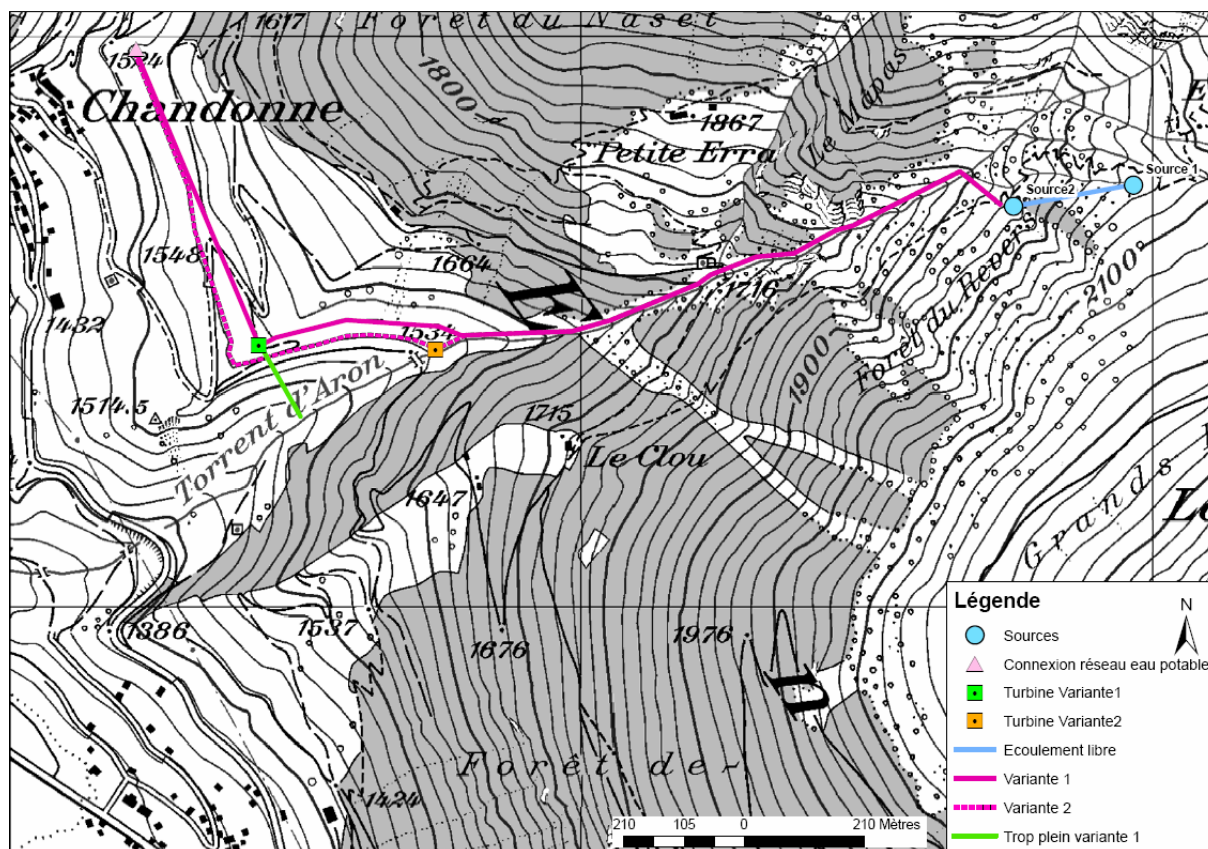


Figure 3. Carte du site avec les deux variantes

La turbine sera placée sur le réservoir alimentant Chandonne en eau potable. Vu l'emplacement de ce village, dont les premières maisons sont à 1'500 m d'altitude et la nécessité de maintenir une pression minimale de 4 bar dans le réseau, il s'agira également d'installer un nouveau réservoir.

Face à la topologie du site, deux variantes d'emplacement du local de turbinage seront étudiées ici:

- **Variante 1:** le local de turbinage est à proximité de la route de Chandonne et du point de raccordement électrique, soit à une altitude de 1'550 m,
- **Variante 2:** le local de turbinage est à proximité du torrent d'Aron, où sera évacué le trop-plein, et d'une voie d'accès, soit à une altitude de 1'545 m (cette variante présente la particularité de se situer dans un couloir à avalanches).

Ainsi, la dénivellation disponible est de **400 m pour la variante 1**, et de **405 m pour la variante 2**.



Photo 1. Torrent d'Aron et zone d'implantation de la future centrale (variante 2) à 1'545 m



CONDUITES ET CHUTE NETTE

Le tracé des conduites est défini par la topologie du site pour les deux variantes, tandis que leurs diamètres internes sont déterminés selon un compromis entre la perte de charge, la production électrique et l'investissement.

Ainsi, plusieurs variantes seront étudiées ici afin de déterminer l'optimal technique et économique pour le tracé et le diamètre interne des conduites.

Calcul de la chute nette

L'équation suivante, basée sur la formule de Colebrook, permet de calculer la perte de charge dans une conduite:

$$H_r = K_{Hr} \cdot Q_t^2$$

avec: H_r = perte de charge [m]

K_{Hr} = coefficient de perte de charge, fonction du diamètre interne de la conduite, de sa rugosité et de sa longueur [s^2/m^5]

Q_t = débit turbiné [m^3/s]

Choix des diamètres internes des conduites

Les conduites seront en fonte afin de garantir la qualité de l'eau transitée et une longue durée de vie.

Les diamètres internes des conduites sont déterminés de façon à assurer un rendement de 90 % pour le débit d'équipement. Ainsi, en prenant une rugosité de 0.05 mm, un seul diamètre de conduite est retenu pour les deux variantes de débits d'équipement: DN 125, le diamètre DN 100 entraînant un faible rendement de conduite, tandis que le diamètre DN 150 ne semble pas justifié vu les débits transitant.

Le tableau suivant présente les rendements des conduites pour les deux variantes de débit d'équipement et pour les deux tracés de conduite.

Variante		A.1	A.2	B.1	B.2
Débit d'équipement, Q_N	l/s	16	16	18	18
Altitude amont	m	1950	1950	1950	1950
Altitude aval	m	1550	1545	1550	1545
Dénivellation	m	400	405	400	405
Longueur de la conduite	m	1400	1090	1400	1090
Diamètre interne de la conduite	mm	DN 125	DN 125	DN 125	DN 125
Coefficient de perte de charge	s^2/m^5	73'303	57'072	72'221	56'230
Perte de charge à Q_N	m	19	15	23	18
Chute nette à Q_N	m	381	390	377	387
Rendement de la conduite à Q_N	%	95	96	94	96

Tableau 1. Caractéristiques des conduites pour les différentes variantes

Dimensionnement préliminaire du turbogroupe

Les dénivellations de 400 et 405 m imposent l'installation de petites turbines Pelton.

Un calcul préliminaire des dimensions des quatre variantes, réalisé sur la base de turbines développées en laboratoire, a été effectué.



Le débit minimum mensuel étant de 3 l/s environ, et la courbe des débits classés turbinés étant relativement plane, une turbine à un injecteur suffit, le débit minimal turbiné correspondant à 10 % du débit par injecteur.

Les principales caractéristiques des machines sont présentées dans le Tableau 2.

Les dimensions hors tout de la machine étant essentiellement déterminées par la vitesse de rotation et le nombre d'injecteurs, les différences de taille entre les variantes sont faibles. Les différences de coût du turbogroupe seront par conséquent également faibles.

Variantes		A.1	A.2	B.1	B.2
Débit d'équipement	l/s	16	16	18	18
Chute nette	m	381	390	377	387
Puissance hydraulique	kW	60	61	66	68
Puissance mécanique	kW	53	54	59	61
Vitesse de rotation	t/min	1500	1500	1500	1500
Nombre d'injecteurs		1	1	1	1
Diamètre de roue (D_{ex})	mm	598	605	592	604
Diamètre de cuvelage (D_c)	mm	1'440	1'460	1'430	1'450
Diamètre d'injection (D_i)	mm	547	554	544	551
Largeur d'augets (B_2)	mm	43	43	46	46
Nombre d'augets		33	33	31	32

Tableau 2. Principales dimensions pour les 4 variantes

Calcul de la production

ENERGIE HYDRAULIQUE BRUTE DU SITE

Afin d'approcher le rendement global de chaque variante, l'énergie hydraulique brute du site (sans prendre en compte la perte de charge dans le réseau) peut être calculée, grâce à la formule suivante:

$$E_h = 10^{-3} \int \rho g Q(t) \Delta Z dt \quad [\text{kWh/an}]$$

où E_h = énergie hydraulique annuelle [kWh/an]

ρ = masse volumique de l'eau, soit ici 1000.2 ($T_{\text{eau}} = 10^\circ\text{C}$) [kg/m³]

g = constante de gravité, soit ici 9.802 [m/s²]

$Q(t)$ = débit turbinable (moyenne mensuelle) [m³/s]

ΔZ = dénivellation, soit 400 ou 405 [m]

Les énergies hydrauliques pour les 4 variantes sont indiquées dans le Tableau 3.



PRODUCTION ÉLECTRIQUE

La production électrique annuelle est calculée par intégration de la courbe des puissances électriques classées, grâce à l'expression:

$$E_{\text{etot}} = 10^{-3} \int \rho g Q_t \eta(Q_t) H(Q_t) dt \quad [\text{kWh/an}]$$

où E_{etot} = production électrique totale annuelle [kWh/an]

$\eta(Q_t)$ = rendement global de l'installation, produit des rendements de la turbine et de l'alternateur, fonction du débit [-]

$H(Q_t)$ = chute nette fonction du débit turbiné, calculée à partir de la formule de Colebrook [m]

Le rendement de la turbine est issu des mesures effectuées en laboratoire sur une turbine à un injecteur et axe vertical (cf. Figure 4).

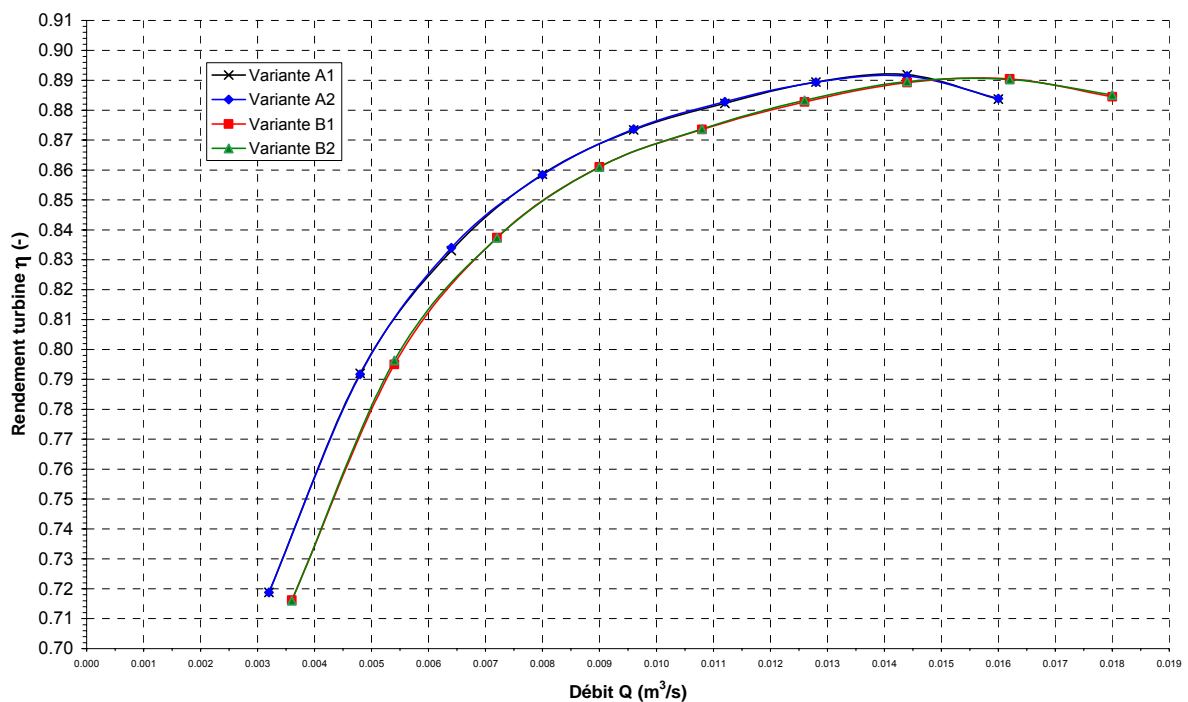


Figure 4. Rendement de la turbine en fonction du débit pour chaque variante

Le rendement de l'alternateur, donné selon des débits relatifs au débit d'équipement, est issu des caractéristiques d'une machine standard similaire, disponible sur le marché, comme montré sur la Figure 5.



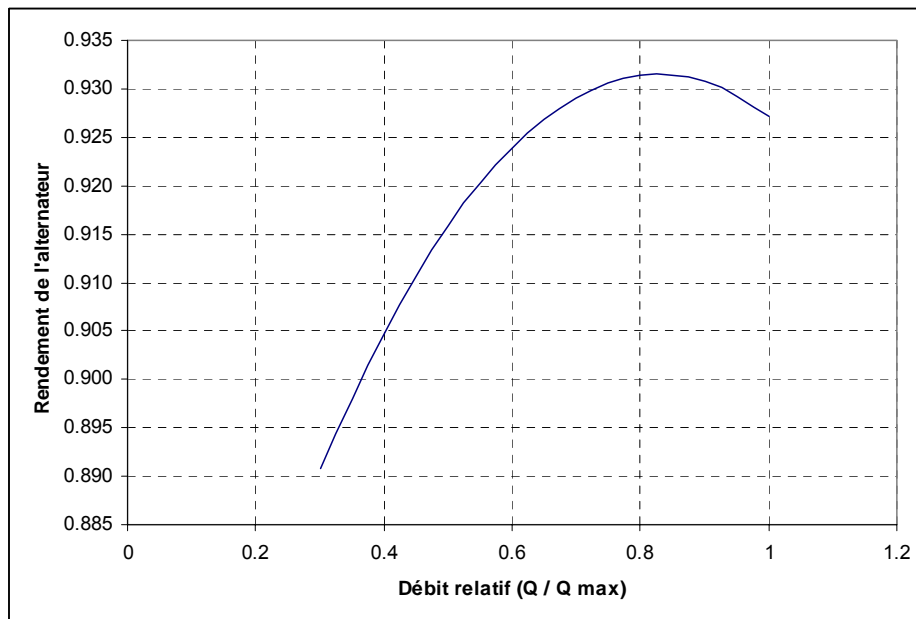


Figure 5. Courbe- type de rendement de la génératrice

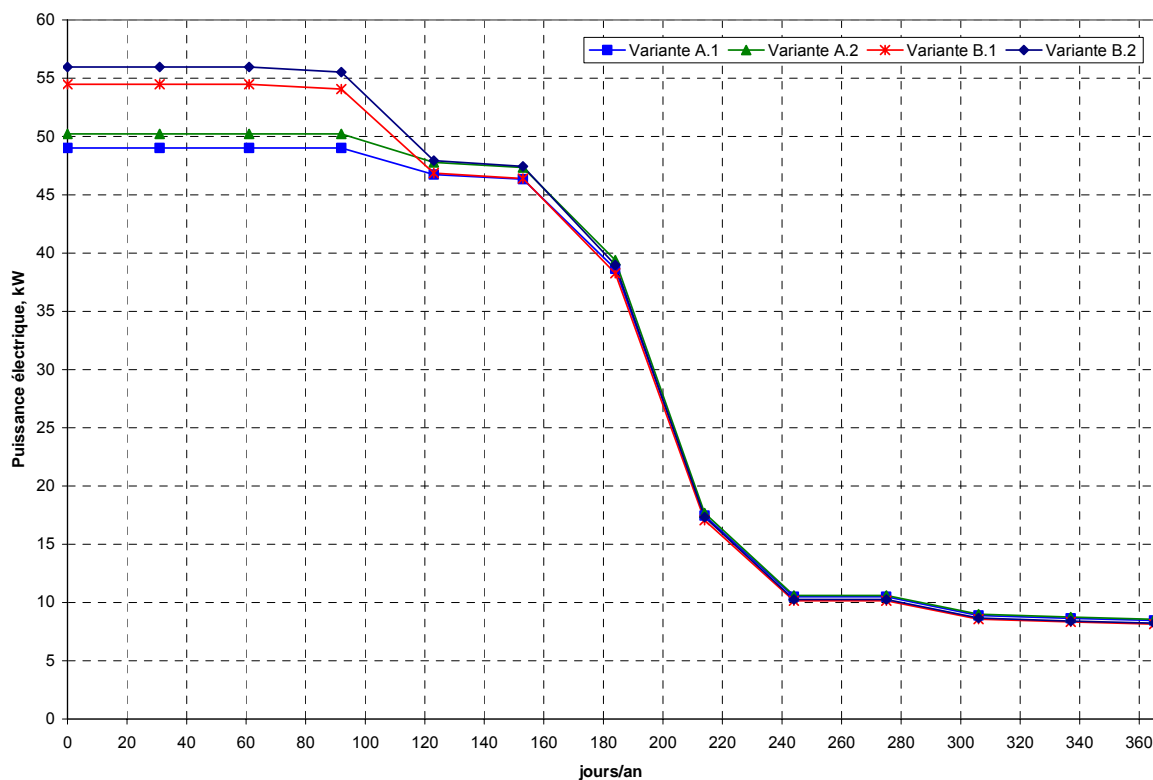


Figure 6. Puissances électriques classées pour les 4 variantes

La Figure 6 présente les courbes des puissances électriques classées, dont la surface avec les axes représente la production annuelle.

Selon l'expérience MHyLab, la production électrique finale prend en compte un arrêt de la turbine de 5 jours pendant la période de turbinage, correspondant à un arrêt pour débit insuffisant ou pour révision.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des 4 variantes. Le rendement de l'installation prend en compte le rendement turbine et celui de l'alternateur. Le rendement global du site est le ratio entre la production électrique et l'énergie hydraulique brute du site (et donc inclut le rendement de la



conduite).

Variantes		A.1	A.2	B.1	B.2
Débit d'équipement, Q_N	l/s	16	16	18	18
Dénivellation	m	400	405	400	405
Energie hydraulique brute	kWh/an	347'000	352'000	367'000	372'000
Diamètre interne de la conduite	mm	DN 125	DN 125	DN 125	DN 125
Chute nette à Q_N	m	381	390	377	387
Puissance hydraulique nette	kW	60	61	66	68
Energie hydraulique nette	kWh/an	335'000	342'000	352'000	360'000
Puissance turbine	kW	53	54	59	61
Puissance électrique	kW	49	50	54	56
Production électrique (arrêt compris)	kWh/an	262'000	268'000	275'000	281'000
Rendement de l'installation	%	78	78	78	78
Rendement global du site	%	76	76	75	76

Tableau 3. Résumé des caractéristiques des 4 variantes, avec en gras les variantes retenues

Ainsi, à ce stade de l'étude, pour un même diamètre de conduite en DN 125, les variantes B, avec un débit d'équipement de 18 l/s, sont les plus intéressantes, car correspondant aux productions les plus importantes.

Les dimensions de la machine étant relativement semblables pour les 4 variantes, et par conséquent leur coût, seules les variantes B seront retenues pour la suite de l'étude.

Il est à noter que la différence de production entre les variantes B.1 et B.2 n'est pas significative en terme de turbinage.



Etude économique comparative des variantes retenues

Cette étude économique, visant à départager les variantes, a pour but d'approcher le prix de revient du kWh électrique à **plus ou moins 20%**

RÉPARTITION DES INVESTISSEMENTS

S'agissant d'une extension du réseau d'eau potable de la commune de Liddes, il est possible de répartir les investissements suivant s'ils sont dus au projet "Eau potable", ou au projet "Energie".

Le tableau suivant explicite la répartition:

Projet	Eau potable	Energie
Captage de la source 1 d'Aron: chambre de captage et conduite en écoulement libre entre la chambre de captage de la source 1 et celle de la source 2		X
Captage de la source 2 d'Aron	X	
Conduite entre la source 2 d'Aron et le local de turbinage	X	
Local de turbinage		X
Réservoir d'eau potable et réserve incendie	X	
By-pass	X	
Turbogroupe complet (turbine, alternateur, armoires électriques)		X
Raccordement au réseau électrique		X
Conduit d'évacuation du trop-plein et de vidange	X	
Conduite entre le local de turbinage et le réseau d'eau potable de Chandonne	X	

Tableau 4. Répartition des investissements entre les projets "Eau potable" et "Energie"

Remarque: le coût du captage de la source 1 revient au projet Energie, car la source 2 suffit aux besoins en eau potable.

Ainsi, en prenant en compte uniquement les investissements liés au projet Energie, seuls les coûts de raccordement permettront de départager les variantes.

CALCULS ÉCONOMIQUES POUR LE PROJET ENERGIE

Cette étude économique, basée uniquement sur les investissements liés au projet Energie, prend en compte les points suivants:

- En électromécanique, l'estimation des coûts a été faite en se basant sur des réalisations comparables. Le coût du turbogroupe pour chaque variante peut être considéré comme similaire. Ce coût prend en compte la turbine à 1 injecteur, la vanne de garde de type sphérique et l'alternateur (armoires électriques, by-pass et raccordement non inclus).
- Les coûts de génie civil comprennent:
 - la chambre de captage de la source 1 d'Aron, soit environ 20'000.- CHF,
 - la conduite en écoulement libre entre les deux sources, soit environ 10'000.- CHF,



- le local de turbinage, soit environ 35'000.- CHF.
- Les frais de raccordement comprennent:
 - le câble en cuivre, dont le coût de la matière est de 70 CHF/m pour une section de 150 mm² (coût au 20.11.06), avec un coût de pose et de tirage estimé à 30 CHF/m, d'une longueur de 560 m pour la variante 1, et de 930 m pour la variante 2,
 - le transformateur de séparation, d'un montant de 8'000 CHF environ.
- Les frais d'ingénierie sont estimés à partir de projets semblables, selon les prix du marché.
- Les divers et imprévus sont estimés à 5 % de l'investissement.
- Les frais d'exploitation, comprenant les frais d'assurance, la taxe de puissance ainsi que les coûts de maintenance, d'entretien courant et de consommation d'énergie sont estimés à partir d'installations similaires.
- Le prix de vente de l'électricité est fixé à 15 cts/kWh selon les recommandations de l'Office Fédéral de l'Energie pour des producteurs indépendants. De plus, suite à la modification de la loi sur l'Energie du 30 novembre 2004, ce tarif devrait être garanti sur le long terme grâce à la possibilité offerte aux distributeurs de facturer, à la société exploitant le réseau THT, les frais supplémentaires encourus du fait de l'achat de l'énergie électrique fournie par des producteurs indépendants.
- Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de 4 %.
- L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- L'étude économique se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées d'amortissement suivantes:
 - 12 ans pour l'appareillage,
 - 25 ans pour l'électromécanique,
 - 30 ans pour le génie civil.
- La totalité de l'investissement provient soit d'un emprunt bancaire, soit de capitaux propres rémunérés au même taux.
- Le prix de revient du kWh est déterminé en divisant la somme des frais annuels (annuité fixe et frais d'exploitation) par la production électrique annuelle, et a été calculé en considérant une année standard.

Variante		B-1	B-2
Electromécanique	CHF	190'000	190'000
Raccordement	CHF	70'000	100'000
Appareillage (armoires électriques)	CHF	50'000	50'000
Génie civil	CHF	65'000	65'000
Frais d'ingénierie	CHF	40'000	40'000
Divers et imprévus	CHF	19'000	20'000
Investissement total	CHF	434'000	465'000

Tableau 5. Résumé des investissements



Variantes		B-1	B-2
Investissement	CHF	434'000	465'000
frais d'exploitation standard	CHF/an	5'000	5'000
Production annuelle	MWhe/an	275	281
tarif de vente	cts/kWh	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	41'000	42'000
taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.9	6.83
Annuité	CHF/an	29'600	31'800
Bénéfice annuel	CHF/an	6'700	5'400
Prix de revient	cts/kWh	12.6	13.1

Tableau 6. Calculs économiques pour les 2 variantes



CALCULS ÉCONOMIQUES DANS LE CAS D'UN CRÉDIT LIM

Les calculs économiques suivants considèrent un prêt LIM² d'un montant égal à 50 % de l'investissement total sans intérêt sur 20 ans.

Pour ces calculs, les investissements non pris en compte par le crédit LIM sont amortis sur 20 ans avec un taux d'intérêt de 4 %, que ce soit pour l'électromécanique, le génie civil ou l'appareillage.

Variantes		B-1	B-2
Investissement total	CHF	434'000	465'000
Investissement à 4 % sur 20 ans	CHF	217'000	232'500
Remboursement du crédit LIM (constant sur 20 ans)	CHF /an	11'000	12'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	5'000	5'000
Production annuelle	MWhe/an	275	281
Tarif de vente	cts/kWh	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	41'000	42'000
Taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Coefficient d'annuité sur 20 ans	%	7.4	7.4
Annuité	CHF/an	15'900	17'100
Bénéfice annuel	CHF/an	9'500	8'400
Prix de revient	cts/kWh	11.6	12.0

Tableau 7. Calculs économiques pour les 2 variantes en prenant en compte un prêt LIM

Avec le crédit LIM, les deux variantes s'avèrent être rentables, mais la variante B-1 reste la plus intéressante.

Finalement, **la variante choisie est la B-1**, qui correspond au meilleur prix de revient et au raccordement électrique le plus court.

—

² LIM: Loi fédérale du 21 mars 1997 sur l'aide aux Investissements dans les régions de Montagne



Principales caractéristiques de la variante finale

Variante finale			B.1
Débit d'installation	Q_{\max}	l/s	18
Altitude amont		m	1950
Altitude aval		m	1550
Dénivellation		m	400
Longueur de la conduite		m	1400
Diamètre interne de la conduite		mm	DN 125
Coefficient de perte de charge		s^2/m^5	72'221
Perte de charge à Q_N		m	23
Chute nette à Q_N	H	m	377
Rendement de la conduite à Q_N		%	94
Energie massique à Q_{\max}	gH	J/kg	3'691
Puissance hydraulique		kW	66
Energie hydraulique		kWh/an	352'000
Type de turbine		Pelton à axe vertical	
Puissance mécanique	$P_{\text{méc}}$	kW	59
Vitesse de rotation	N	t/min	1'500
Vitesse d'emballement	N_e	t/min	2'850
Nombre d'injecteurs	Z_i		1
Diamètre de roue	D_{ex}		592
Diamètre du cuvelage	D_c	mm	1'430
Diamètre d'injection	D_1	mm	544
Largeur d'auget	B_2	mm	46
Nombre d'augets	Z_a		31
Puissance électrique	$P_{\text{élec}}$	kW	54
Production électrique (arrêt compris)		kWh/an	281'000
Rendement de l'installation		%	78
Rendement global du site		%	75

Tableau 8. Principales caractéristiques techniques de la variante retenue



Variante		B-1
Electromécanique	CHF	190'000
Raccordement	CHF	70'000
Appareillage (armoires électriques)	CHF	50'000
Génie civil	CHF	65'000
Frais d'ingénierie	CHF	40'000
Divers et imprévus	CHF	19'000
Investissement total	CHF	434'000

Tableau 9. Résumé des investissements pour la variante retenue

Variantes		B-1 sans prêt LIM	B-1 avec prêt LIM
Investissement à 4 %	CHF	434'000	217'000
Remboursement du crédit LIM (constant sur 20 ans)	CHF/an	0	11'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	5'000	5'000
Production annuelle	MWhe/an	275	275
Tarif de vente	cts/kWh	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	41'000	41'000
Taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Coefficient d'annuité	%	6.9	7.4
Annuité	CHF/an	29'600	15'900
Bénéfice annuel	CHF/an	6'700	9'500
Prix de revient	cts/kWh	12.6	11.6

Tableau 10. Calculs économiques pour la variante retenue, avec ou sans crédit LIM



Description technique de la variante retenue

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

La régulation de la turbine sera asservie à la mesure de niveau amont effectuée dans la chambre de captage de la source 2. Le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le débit disponible est inférieur au débit minimum de fonctionnement de la turbine, celle-ci est à l'arrêt.
- Tant que le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine, toute l'eau passe par l'installation hydroélectrique.
- Dès que le débit disponible dépasse le débit maximum de la turbine, le surplus est déversé dans le torrent d'Aron.

En cas d'arrêt de la turbine pour révision ou en cas de débits insuffisants, l'eau est by-passée en amont de la turbine, de façon à continuer à alimenter le réservoir d'eau potable.

TURBINE

Les indications pour la turbine, présentées dans ce rapport, sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, les performances de la turbine (garanties de rendement, fiabilité, etc.) correspondent à une machine développée en laboratoire et pour laquelle le constructeur peut prouver indiscutablement la provenance de ses garanties. Ainsi, les caractéristiques annoncées sont réalistes, pour autant que la turbine soit construite conformément à un profil issu de développement en laboratoire.

On utilisera autant que possible l'acier inoxydable pour la construction de la turbine.

La roue est en porte-à-faux sur l'arbre de l'alternateur.

On utilisera de préférence une construction à augets rapportés, usinés en CNC, fixés entre deux flasques. Cette méthode permet un changement partiel de la roue en cas de dégâts éventuels dus à des matériaux solides transportés par l'eau. De plus, elle assure une parfaite similitude entre le profil hydraulique développé en laboratoire et celui usiné, chose difficilement réalisable (voire impossible) avec une roue coulée d'une pièce, l'espace étant insuffisant pour la finition par meulage. Par ailleurs, nous préconisons l'utilisation de barreaux forgés, dont les caractéristiques mécaniques sont bien supérieures à celles d'un métal coulé.

En outre, nous recommandons une commande de l'injecteur par vérin électrique.

L'injecteur comportera un déflecteur afin d'assurer la sécurité en cas de déclenchement.

VANNE

La sécurité étant assurée par le déflecteur, la seule vanne prévue est la vanne de révision de la turbine. Elle pourra être de type sphérique DN 125, PN 64, laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite. Sa manœuvre sera manuelle.

BY-PASS

En cas d'arrêt de la turbine pour révision ou débit insuffisant, le réservoir d'eau potable sera toujours alimenté par un by-pass équipé d'un réducteur de pression. Nous recommandons pour ce faire un dissipateur de Carnot, pour les raisons suivantes:

- sa régulation est similaire à celle d'un injecteur de turbine,
- sa simplicité en réduit le coût.



ALTERNATEUR

Type	synchrone	
Fréquence	50	Hz
Tension triphasée aux bornes	400	V
Vitesse nominale	1'500	min ⁻¹
Puissance électrique	54	kW
Cos φ	0.90	
Puissance apparente	60	kVA

Les paliers seront à roulement graissés, d'une durée de vie de 100'000 heures. Ils devront tenir compte du fait que la roue de la turbine est en porte-à-faux sur l'arbre.

L'excitation triphasée sera à diodes tournantes, sans bague, avec si possible réglage de tension et de Cos φ incorporé à la machine.

CONTRÔLE COMMANDE

La centrale étant prévue pour fonctionner de manière entièrement automatique, sa régulation et son exploitation devront être des plus simples, réduisant au minimum les interventions.

La régulation sera asservie au niveau d'eau amont.

La turbine devra pouvoir fonctionner en automatique ou en manuel (mise en route et couplage au réseau).

En cas de déclenchement de réseau, le redémarrage se fera de manière automatique. Il en est de même en cas d'arrêt consécutif à une alarme, si celle-ci disparaît sans intervention humaine.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :

- Commande des injecteurs avec affichage de l'ouverture,
- Réglage de Cos φ .

Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du Cos φ , synchronoscope, compte tour,
- Indicateur de niveau amont,
- Indicateur de charges des batteries de secours,
- Compteur d'heures, compteur de démarrage,
- Températures des roulements et du bobinage de l'alternateur,
- Arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes devront être traitées :

- Niveau amont insuffisant,
- Surcharges alternateur,
- Survitesse,
- Arrêt d'urgence,
- Défaut de mise en marche,
- Roulements alternateurs,



- Bobinages,
- Retour de courant,
- Surcharge batteries,
- Défaut batterie.

Le groupe comprendra ses propres armoires de commande.

Le contrôle commande sera alimenté en 24 V CC ou 48 V CC et secouru par des batteries.

RACCORDEMENT

Le raccordement se fera au réseau électrique en 400 V de la commune de Chandonne par un câble enterré GKN 3x150/150 mm², sur le même parcours que celui de la conduite.

Un transformateur de séparation en cas de court circuit sera installé.

SÉCURITÉ

La sécurité est assurée par le déflecteur de la turbine. En cas de déclenchement, celui-ci s'ouvrira et le pointeau se fermera.

INTÉGRATION DU TURBOGROUPE AU SITE

Le local de turbinage sera enterré pour des questions d'avalanche et sera attenant au réservoir d'eau potable et au réservoir incendie.

Un croquis d'encombrement est donné en annexe.

Se reporter au rapport de BTEE sur le projet "Eau potable" pour plus de détails sur cette installation.

Conclusions, remarques et suggestions

- La variante à **18 l/s de débit d'équipement**, correspondant à un local de turbinage proche de Chandonne s'avère être la plus intéressante avec un prix de revient de **12.6 cts/kWh**, ou de **11.6 cts/kWh**, en prenant un crédit LIM équivalent à 50 % de l'investissement total pour le projet "Energie" sur 20 ans sans intérêt. Le choix de cette variante est essentiellement dû au coût du raccordement, et en particulier au marché du cuivre.
- Nous vous rendons attentifs au fait que les rendements de turbine utilisés ici sont ceux obtenus par des turbines développées en laboratoire, et nous vous conseillons de demander à tout fournisseur de turbine de justifier les rendements annoncés.
- La production annuelle de cette petite centrale injectée dans le réseau interconnecté européen évite le rejet dans l'atmosphère d'environ 130 tonnes de dioxyde de carbone.

Programme de travail

Les prochaines étapes à mettre en œuvre pour pouvoir réaliser le projet de mise en place de la station de turbinage des eaux potables de Liddes sont les suivants :

- Continuer les mesures de débit au niveau des sources, afin de consolider les mesures disponibles actuellement, et la courbe des débits classés.
- Etablir les cahiers des charges et lancer les consultations d'entreprises spécialisées dans la fourniture de matériel hydroélectrique.
- Etablir les cahiers des charges et lancer les consultations d'entreprises spécialisées en génie civil.



- Commande du matériel, installation et mise en service.
- La réalisation de la petite centrale pourrait être effectuée en automne 2007, dans la saison des faibles débits, et la mise en service au printemps 2008 juste avant la période de hautes eaux.

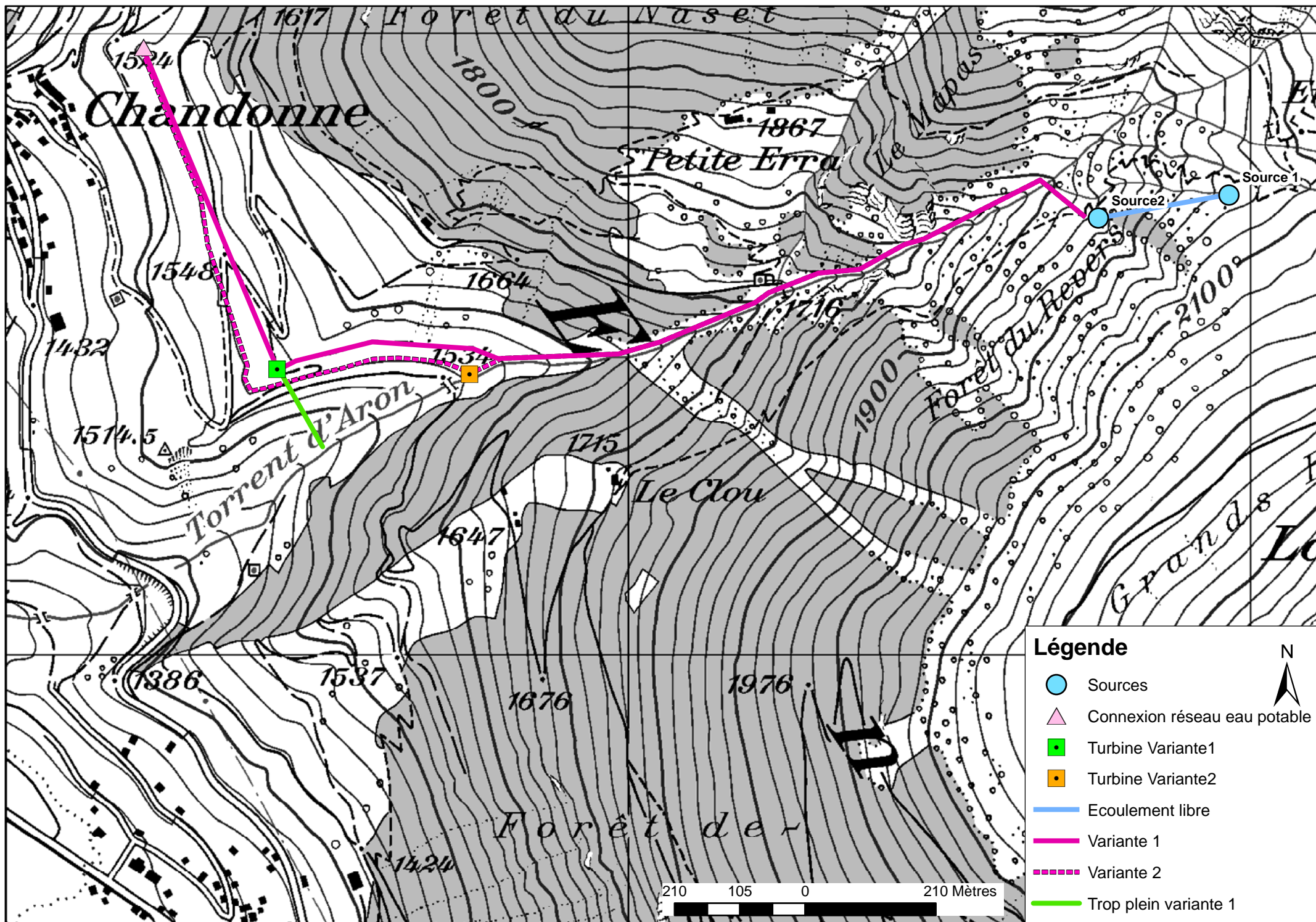
Annexes

Annexe 1: carte de la région avec l'emplacement des conduites et du local de turbinage (une ou deux variantes)

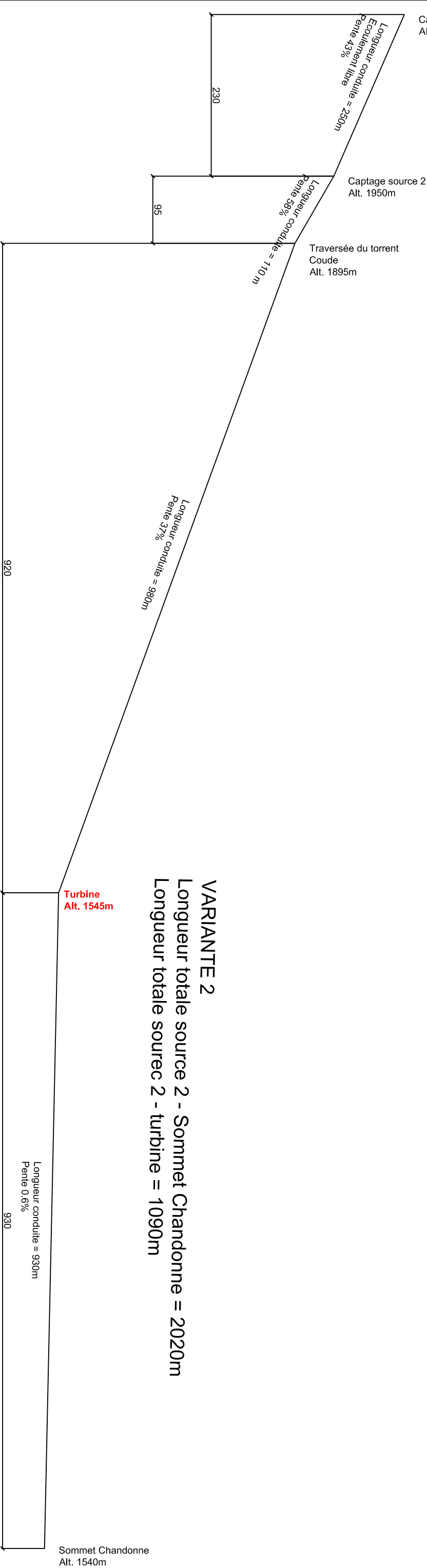
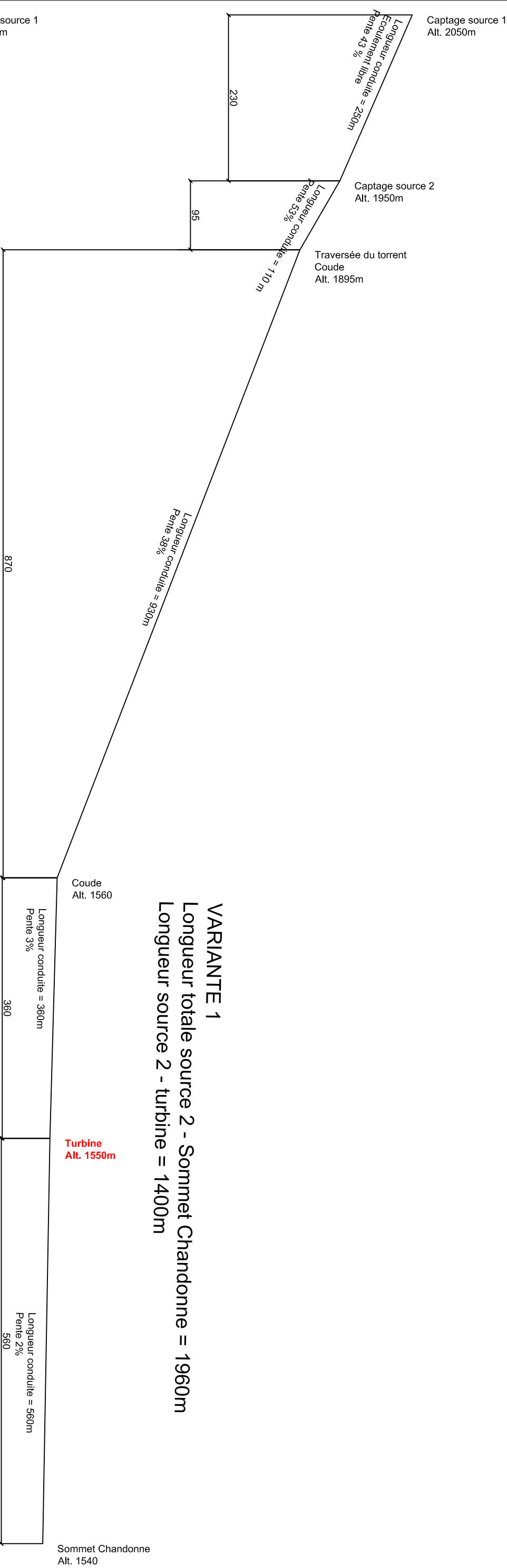
Annexe 2: schéma du tracé des nouvelles conduites.

Annexe 3: croquis d'encombrement de la variante retenue.

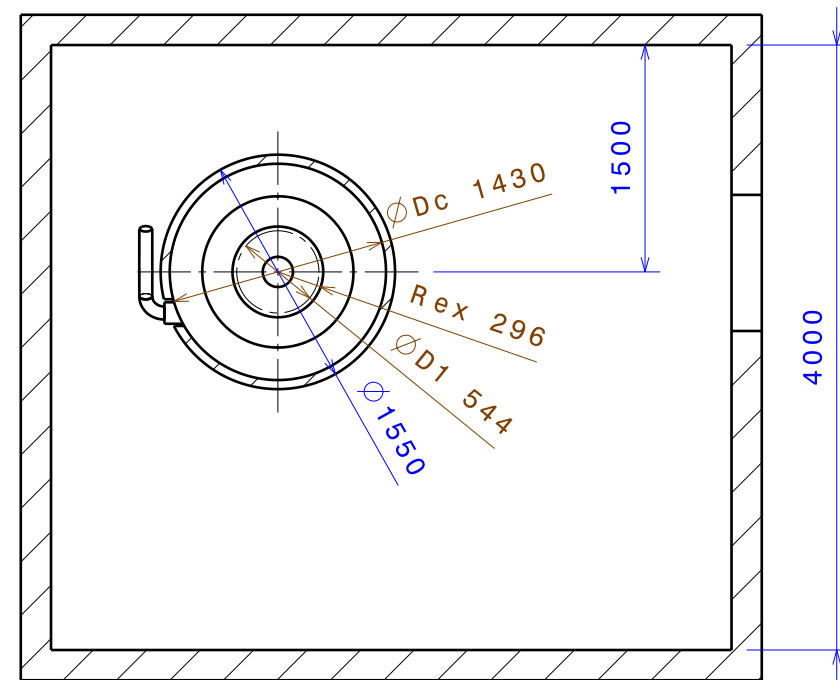
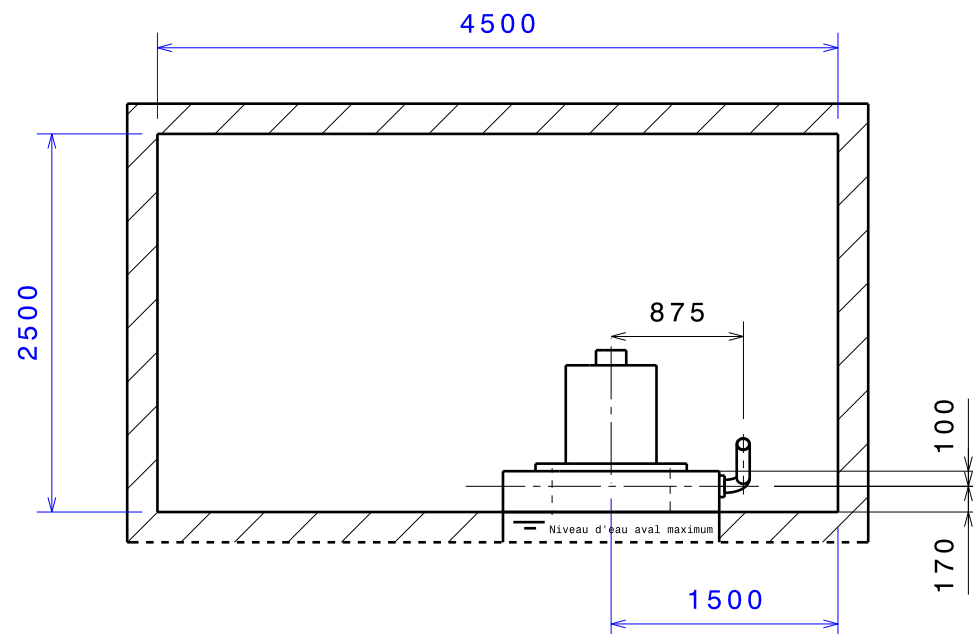






PROFILS EN LONG
VARIANTE 1 ET 2



This document is the property of MHyLab and shall not be copied or disclosed to any third party without MHyLab written agreement. Ce document est la propriété de MHyLab et ne doit pas être copié ou transmis à un tiers sans l'accord écrit de MHyLab.

[illegible]

F					
E					
D					
C					
B	Agrandissement du local	25.10.06	AC		
REV.	MODIFICATIONS		DATE	DESS.	CONTR. APPR.
ENSEMBLE		POIDS	ECHELLES 1:50		DESSINE A.Choulot 05.10.06
Ma0601 Liddes eau potable Schéma de principe, Variante B-1 Pelton 1 injecteur Hn = 377 m, Q max = 18 l/s			CONTROLE	*	*
			APPROUVE	*	*
					
		Laboratoire de Mini-Hydraulique 1354 MONTCHERAND SUISSE			REV.
		MP0601 -0001 -4			B

MESSIN CCD (CATIA-CADAM-DRAFTING)