



## DOCUMENT COMPLEMENTAIRE

### AVIS PUBLICITE N°2022 –VNFNE-AAP-70

En réaction aux questions reçues,

- VNF met à disposition, ci-joint, l'étude « Maitrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein – Nancy Sud / MC 6 ASPECTS HYDROELECTRIQUES » réalisée pour VNF par Artélia en 2016.

A toutes fins utiles, VNF précise que les chroniques de débit de la Moselle sont disponibles pour la station DREAL de Tonnoy et qu'une centrale au niveau de l'ouvrage de Messein ne pourra turbiner que lorsque le débit à cette station sera supérieur à  $6,5\text{m}^3/\text{s}$ .

Conformément à l'article 4.1 du présent appel à projets : « La responsabilité de VNF ne saurait être engagée du fait du caractère éventuellement incomplet, inexact ou erroné des documents (estimations, prévisions, informations, analyses et études de toute nature) remis ou mis, à titre indicatif, à la disposition des candidats ».

VNF rappelle que les solutions techniques seront à proposer par les candidats retenus à l'issue de la phase candidature et qu'aucune solution technique ne leur sera imposée.

- Les candidats peuvent déposer leur candidature sous la forme de leur choix (candidature simple ou groupement). Dans le cas d'un groupement, les candidats sont invités à produire les éléments attendus relatifs à chacun des membres du groupement et à préciser à quelle structure serait octroyée la ou les conventions d'occupation temporaire s'ils étaient lauréat. S'il s'agit d'une structure ad hoc, elle devra être constituée au plus tard pour la signature de la convention d'occupation temporaire.



# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

ETUDES D'AVANT-PROJET : AVP 2 / MC6 - ASPECTS HYDROELECTRIQUES

RAPPORT

**ARTELIA Ville et Transport**  
**Agence de Strasbourg**

15 Avenue de l'Europe  
Espace Européen de l'Entreprise  
67300 SCHILTIGHEIM  
Tel. : +33 (0)3 88 04 04 00  
Fax : +33 (0)3 88 56 90 20



**VOIES NAVIGABLES DE FRANCE**  
DT Nord-Est/AEGT

# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>SEUIL DE FLAVIGNY - OUVRAGE DE CHASSE</b>	<b>2</b>
2.1.	PRESENTATION DU SITE	2
2.2.	DONNEES DE BASE	3
2.2.1.	Hydrologie	3
2.2.1.1.	OBJECTIFS	3
2.2.1.2.	CONTEXTE HYDRAULIQUE	3
2.2.1.3.	FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE	4
2.2.2.	Hauteur de chute	6
2.2.2.1.	TOPOGRAPHIE	6
2.2.2.2.	VARIATION DE NIVEAUX ET CHUTE	6
2.2.3.	Etude de faisabilité pour le raccordement au réseau ENEDIS - ERDF	6
2.3.	ETUDE TECHNIQUE	7
2.3.1.	Débit d'équipement	7
2.3.2.	Type de machine approprié au site	7
2.3.3.	Définitions des travaux à réaliser	7
2.3.3.1.	TRAVAUX COMMUNS AUX DEUX SOLUTIONS	7
2.3.3.2.	AMENAGEMENTS PROPRES POUR LA TURBINE VLH	8
2.3.3.3.	AMENAGEMENTS PROPRES POUR LES TURBINES KAPLAN	11
2.4.	ETUDE ECONOMIQUE	15
2.4.1.	Etude de productible	15
2.4.1.1.	METHODOLOGIE DE L'ESTIMATION DU PRODUCTIBLE ENERGETIQUE	15
2.4.1.2.	TURBINE VLH 4500	15
2.4.1.3.	TURBINES KAPLAN	18
2.4.2.	Chiffre d'affaire	20
2.4.2.1.	TURBINE VLH 4500	21
2.4.2.2.	TURBINES KAPLAN	21
2.5.	COUT D'EXPLOITATION	22
2.6.	BUDGET PREVISIONNEL	23
2.6.1.	TURBINE VLH	23
2.6.2.	Turbines Kaplan	23
2.7.	RENTABILITE	24
<b>3.</b>	<b>USINE ELEVATRICE DE MESSEIN</b>	<b>25</b>
3.1.	PRESENTATION DU SITE	25
3.2.	DONNEES DE BASE	26
3.2.1.	Hydrologie	26
3.2.2.	Hauteur de chute	27
3.2.2.1.	TOPOGRAPHIE	27
3.2.2.2.	VARIATION DE NIVEAUX ET CHUTE	27
3.3.	ETUDE TECHNIQUE	27
3.3.1.	Débit d'équipement	27
3.3.2.	Type de machine approprié au site	27
3.3.3.	Définitions des travaux à réaliser	29
3.3.3.1.	PRISE D'EAU	29
3.3.3.2.	CONDUITE D'AMENEE	29
3.3.3.3.	CENTRALE	30
3.4.	ETUDE ECONOMIQUE	31
3.4.1.	Etude de productible	31
3.4.1.1.	EQUIPEMENT AVEC LES 2 TURBINES	31
3.4.1.2.	EQUIPEMENT AVEC UNE TURBINE	32

**Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein -  
Nancy Sud**

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

---

3.4.2.	Chiffre d'affaire	33
3.5.	COÛT D'EXPLOITATION	33
3.6.	BUDGET PREVISIONNEL	34
3.6.1.	Projet avec 2 turbines	34
3.6.2.	Projet avec 1 turbine	35
3.7.	RENTABILITE	36
<b>4.</b>	<b>ASPECTS REGLEMENTAIRES</b>	<b>37</b>
4.1.	AUTORISATION PREFECTORALE	37
4.2.	PROCEDURES A METTRE EN ŒUVRE	37

---

## 1. INTRODUCTION

Le système global d'alimentation est un système complexe débutant au niveau du barrage fixe de Flavigny-sur-Moselle et allant jusqu'à l'usine élévatrice de Messein.

De la prise d'eau à Flavigny jusqu'à l'usine de Messein, l'alimentation se fait via une rigole dont le cheminement est contrôlé et régulé par différents ouvrages successifs.

Du fait de la vétusté générale des installations et de la dégradation de certaines zones clés, VNF a aujourd'hui décidé de mettre en œuvre le programme de travaux élaborés au travers d'études précédentes et a confié à ARTELIA, une mission de maîtrise d'œuvre global pour la modernisation du système d'alimentation. En effet, les difficultés de gestion de la prise d'eau engendrent très souvent des prélèvements en excès en période de crue alors qu'à l'étiage, la pénibilité des manœuvres et l'état de certains ouvrages ne permettent pas d'optimiser la gestion des débits.

En parallèle de la mission de modernisation du système, une mission d'étude pour le développement de la production hydroélectrique a également été confiée à ARTELIA.

Le présent document constitue le rapport d'étude de l'élément de mission AVP2 correspondant aux études d'Avant-Projet relatif au développement de la production d'hydroélectricité vendue à EDF dans le cadre de l'obligation d'achat.

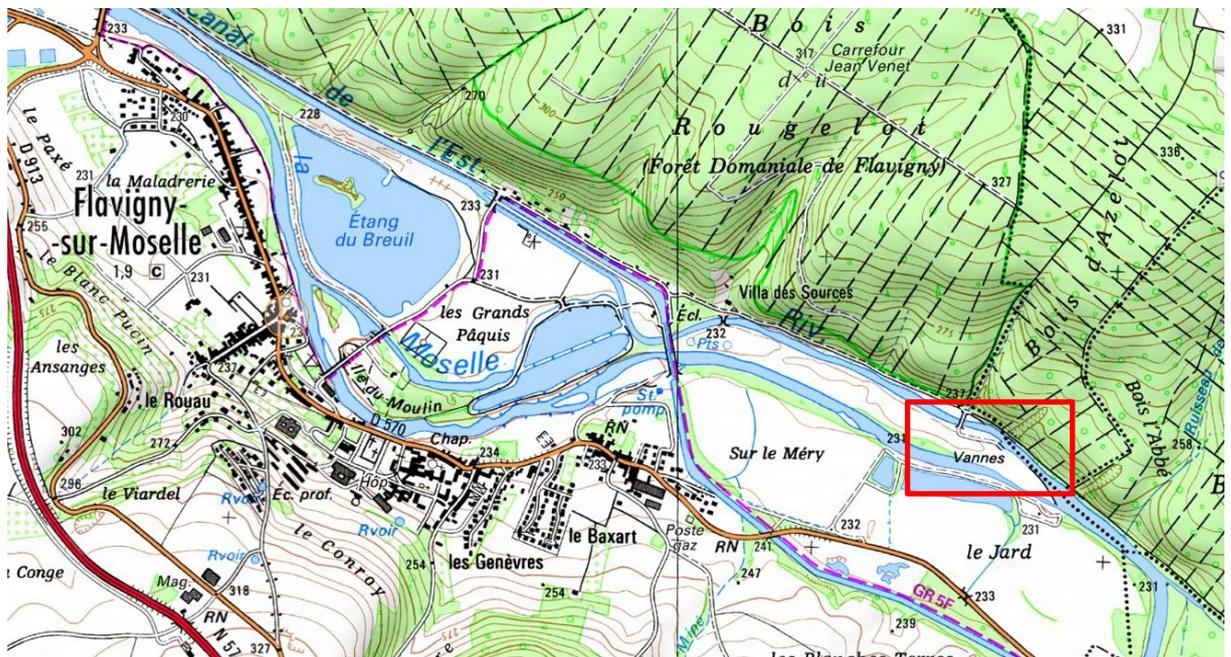
Lors des études de programmation, le potentiel hydroélectrique a été évalué, faisant ressortir deux sites, l'ouvrage de chasse et l'usine de Messein. Suite au diagnostic, le présent rapport présente les études d'avant-Projet.

## 2. SEUIL DE FLAVIGNY - OUVRAGE DE CHASSE

### 2.1. PRESENTATION DU SITE

Le projet consiste à équiper l'ouvrage de chasse existant, en aval du seuil de Flavigny. Cet ouvrage avait été conçu dans l'optique de réaliser des chasses afin de dégraver l'entrée de la rigole. Cependant, celui-ci n'a jamais servi.

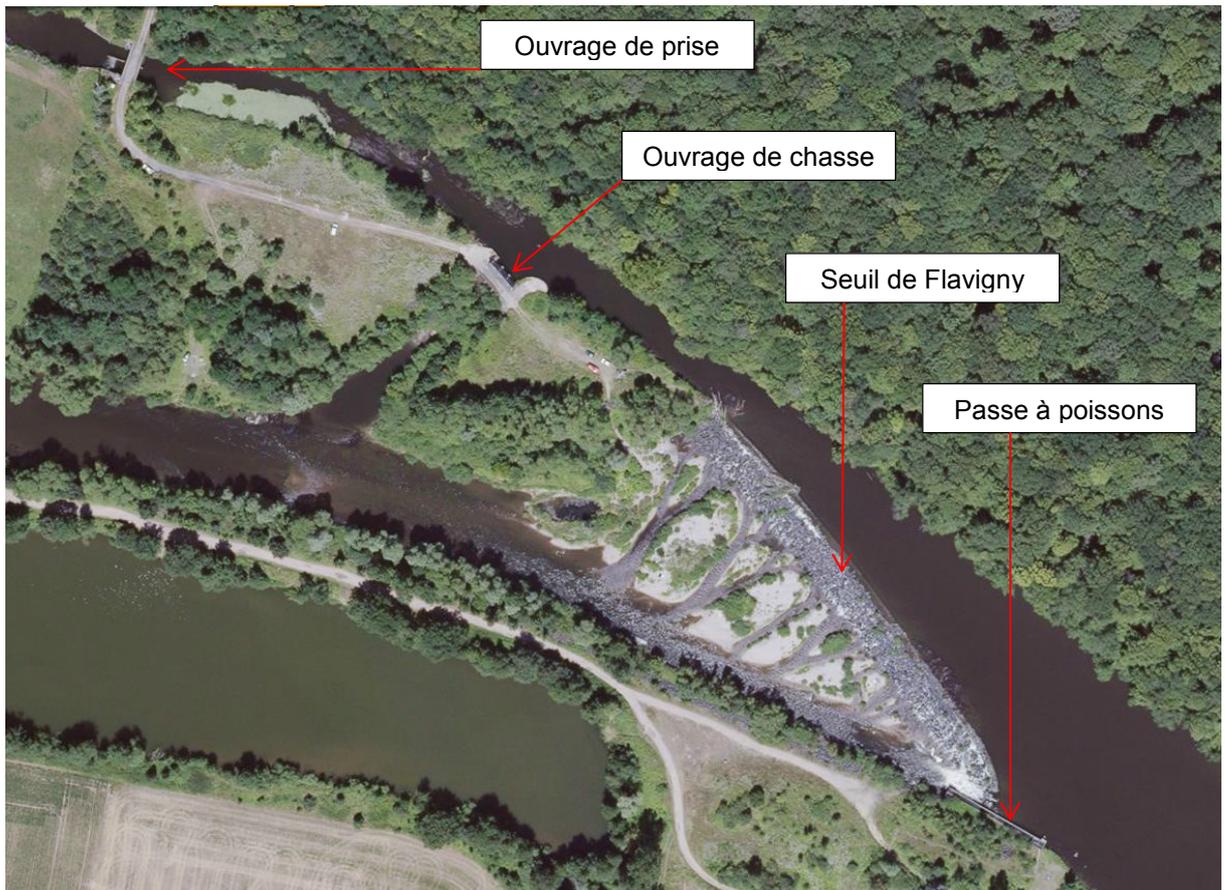
Le site se situe sur la commune de Flavigny sur Moselle, dans le département de Meurthe-et-Moselle.



**Fig. 1. Localisation sur plan IGN**

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT



**Fig. 2.** Localisation sur vue aérienne

## 2.2. DONNEES DE BASE

### 2.2.1. Hydrologie

#### 2.2.1.1. OBJECTIFS

La connaissance du contexte hydrologique est indispensable pour déterminer les conditions hydrauliques locales et assurer un dimensionnement pertinent des ouvrages.

Les objectifs de l'analyse hydrologique sont les suivants :

- caractériser les apports moyens journaliers (débit moyen et courbe des débits classés), afin de procéder à une estimation du potentiel de production hydroélectrique aussi précis et pertinent que possible ;
- caractériser les débits de crue, afin de dimensionner les ouvrages en conséquence.

#### 2.2.1.2. CONTEXTE HYDRAULIQUE

Le système d'alimentation global met en jeu plusieurs cours d'eau distincts et plus ou moins importants à l'échelle du projet. Le réseau hydrographique dans le secteur d'étude est composé de :

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

- La Moselle : la prise d'eau prélève directement dans la Moselle pour alimenter la rigole,
- Le canal des Vosges : canal navigable parsemé de nombreuses écluses et qui est confondu avec la rigole sur le bief 45,
- La rigole d'alimentation, confondue avec le canal des Vosges au niveau du bief 45,
- Le canal du moulin : canal privé qui permet d'évacuer le surplus d'eau de la rigole directement dans la Moselle.

La station hydrométrique de référence de ce projet est celle de Tonnoy, située quelques kilomètres en amont du barrage de Flavigny, sur la Moselle. Les débits mesurés au niveau de cette station sont considérés comme équivalents à ceux en amont du barrage de Flavigny.

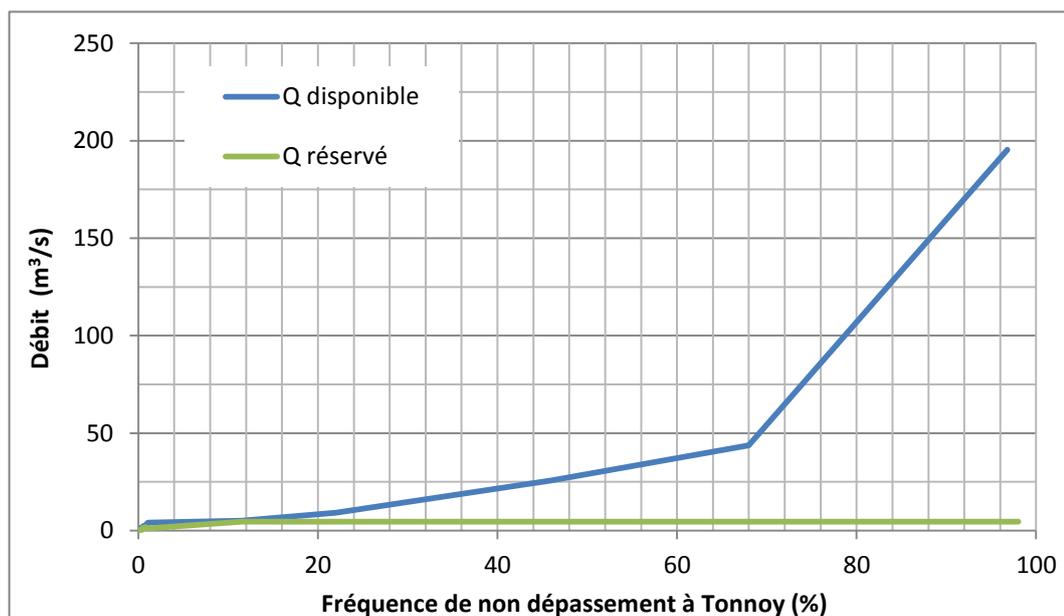
- Les données hydrauliques de la station sont les suivantes (source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>) :
  - Nom de la station : La Moselle à Tonnoy,
  - Code Station : A5110610,
  - Bassin versant : 1976 km<sup>2</sup>,
  - Altitude du zéro de l'échelle : 230.52 m.

**Tabl. 1 - Débits caractéristiques**

VCN3 (1/5) [m <sup>3</sup> /s]	QMNA 1/5 [m <sup>3</sup> /s]	Module [m <sup>3</sup> /s]	2 x Module [m <sup>3</sup> /s]
4,3	6,5	46,0	97,8

### 2.2.1.3. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

Comme présenté dans le Diagnostic, le fonctionnement hydraulique impose une gestion des débits afin de chacun des usages puissent être assurés en fonction de sa priorité. Le graphique ci-dessous montre le débit disponible pour la centrale de l'ouvrage de chasse en fréquence.



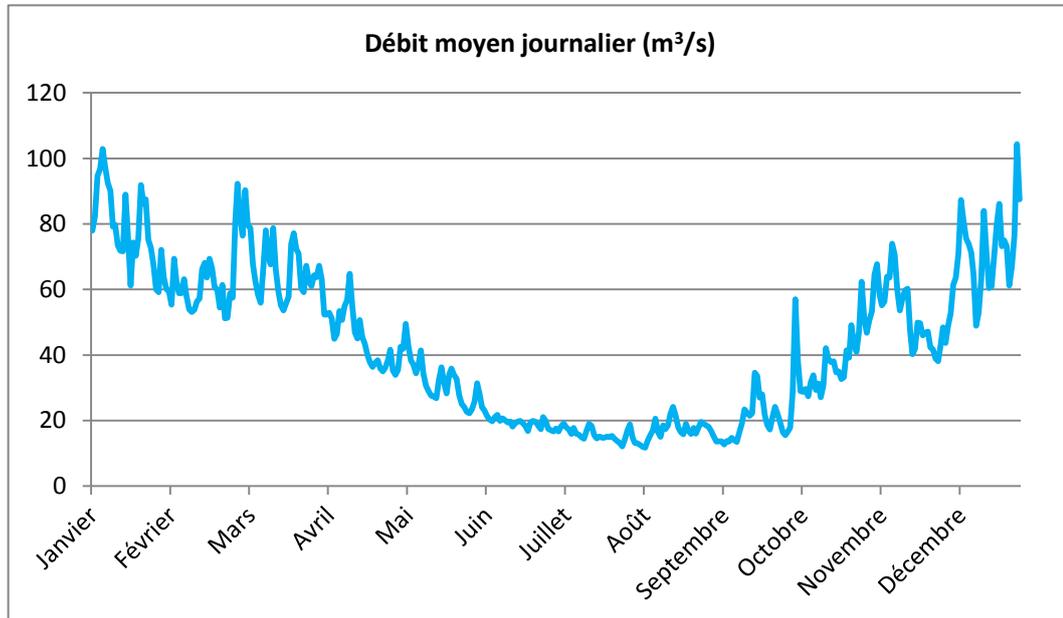
**Fig. 3. Débit disponible au droit du seuil**

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

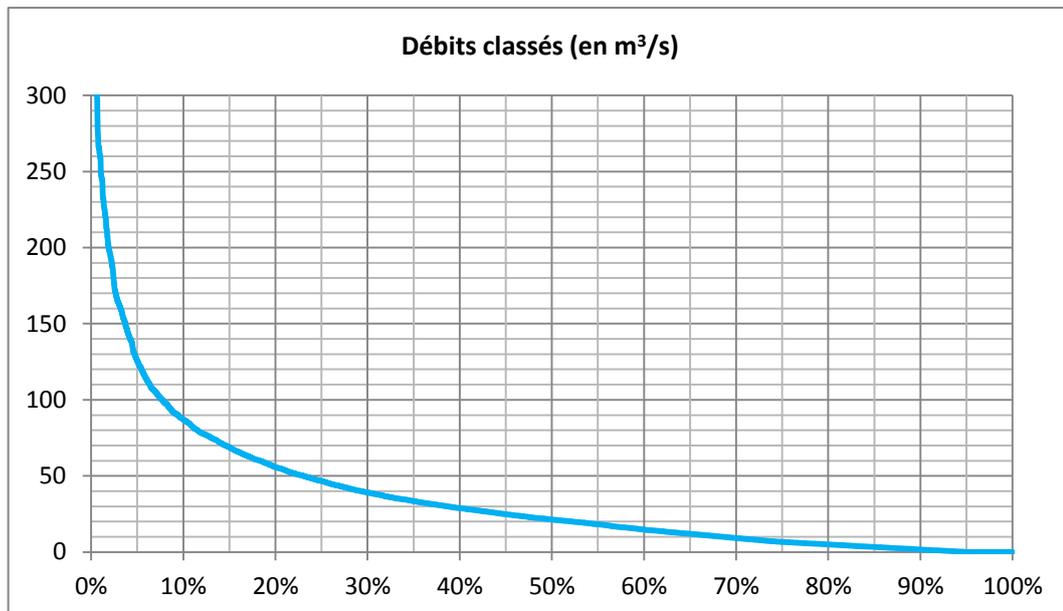
RAPPORT

Afin de visualiser la variation annuelle de l'hydrologie de la Moselle, le débit moyen journalier sur les données disponibles à la station de Tonnoy est donné ci-dessous. La production hydroélectrique sera majoritairement en hiver. La valorisation tarifaire sera plus intéressante.



**Fig. 4. Débit moyen journalier**

La courbe des débits classés, minorés du débit réservé, permet de visualiser le temps de fonctionnement moyen en fonction du débit d'équipement. Dans le cas présent, avec un débit d'équipement de 22 m³/s, la centrale fonctionnerait en moyenne 50 % du temps à plein débit.



**Fig. 5. Débits classés minorés du débit réservé**

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

### 2.2.2. Hauteur de chute

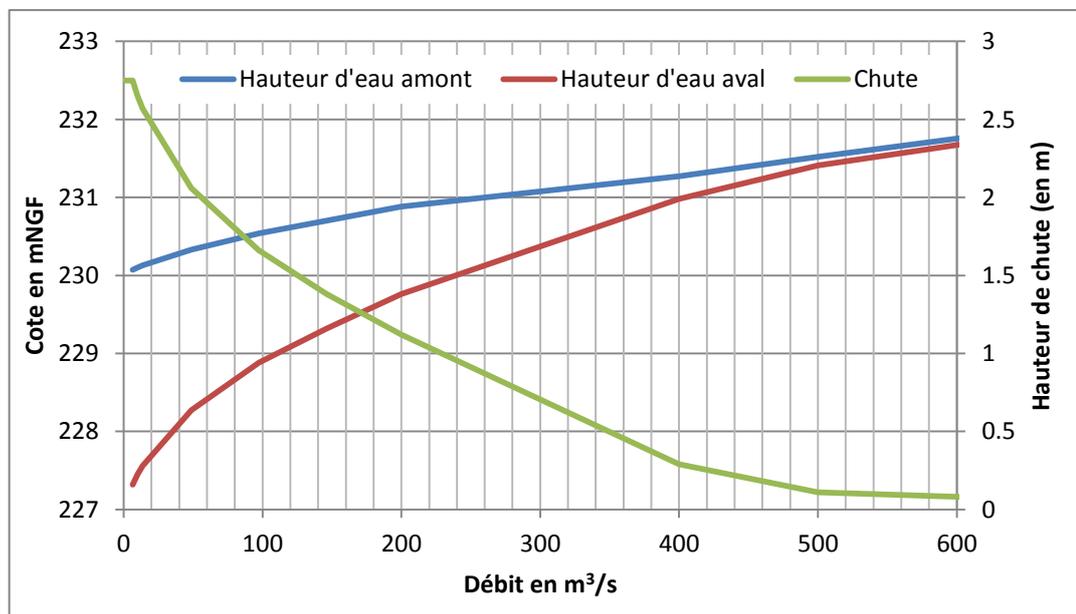
Le présent paragraphe a pour objectif de déterminer le dénivelé récupérable, en prenant en compte les variations de hauteur de chute en fonction de l'hydrologie.

#### 2.2.2.1. TOPOGRAPHIE

Le site a fait l'objet d'un levé topographique. La hauteur de chute brute maximale est de 2,75 m à l'étiage.

#### 2.2.2.2. VARIATION DE NIVEAUX ET CHUTE

Afin de prendre en compte les variations de niveaux d'eau amont et aval, une modélisation a été réalisée. Les résultats sont donnés ci-après sous forme de graphique :



**Fig. 6. Variation des niveaux d'eau et de la hauteur de chute**

### 2.2.3. Etude de faisabilité pour le raccordement au réseau ENEDIS - ERDF

Suite au diagnostic et à la visite sur site, l'ouvrage de chasse est raccordé au réseau électrique, cependant, la faible puissance nécessaire et la distance de la ligne ont fait ressortir un risque de coût élevé de raccordement, en devant renforcer la ligne.

A ce titre, il a été demandé à ERDF d'étudier le raccordement d'une centrale de production hydroélectrique. L'étude de faisabilité a été retournée en décembre 2015. Les principaux résultats indiquent que le renforcement n'est pas nécessaire pour 400 kW. Les coûts indiqués seront repris dans le budget de travaux.

## 2.3. ETUDE TECHNIQUE

### 2.3.1. Débit d'équipement

Le débit d'équipement correspond au débit maximal de la turbine. Ce débit est déterminé afin d'optimiser le projet, c'est-à-dire de maximiser le chiffre d'affaire, en fonction de l'hydrologie, en ayant un investissement raisonnable.

La configuration du site, avec l'ouvrage de chasse existant, limite le débit d'équipement. En effet, afin de ne pas générer de fortes pertes de charge au niveau des vannes de décharge de l'ouvrage, les vitesses doivent être limitées.

Dans le cas présent, la vitesse d'écoulement est de l'ordre de 1 m/s.

Les sections de passage, avec un niveau amont normal, sont de 3 m x 2,4 m = 7,2 m<sup>2</sup>.

L'utilisation des 3 pertuis donne une section globale de 22,5 m<sup>2</sup>, soit un débit d'équipement proche de 22 m<sup>3</sup>/s.

Celui-ci sera défini par le type de machine, ayant des gammes de débit différent.

D'après la courbe des débits classés, ce débit d'équipement permet de fonctionner la moitié du temps à plein débit et jusqu'à 85% du temps à débit partiel.

### 2.3.2. Type de machine approprié au site

Comme évoqué dans la note d'hypothèses, les deux types de turbine les plus adaptés au site sont :

- La turbine VLH 4500
- 3 turbines Kaplan en siphon

Il est finalement préféré 3 turbines Kaplan afin de rester sur des gammes standards de turbines. En effet, avec la hauteur de chute, l'augmentation du débit unitaire des turbines engendre de modifier le type de turbine et de passer en chambre d'eau. Le génie civil associé est plus important, générant une augmentation de l'investissement.

### 2.3.3. Définitions des travaux à réaliser

#### 2.3.3.1. TRAVAUX COMMUNS AUX DEUX SOLUTIONS

##### 2.3.3.1.1. Ouvrage de chasse

Afin de réaliser les travaux au sec, l'ouvrage de chasse sera conservé et rénové. Les organes de manœuvre seront remplacés et motorisés.

Les 3 vannes levantes serviront de vannes d'isolement des passes et donc des turbines.

##### 2.3.3.1.2. Raccordement électrique

La centrale, quel que soit le type de turbine, sera raccordée au réseau électrique ENEDIS (Ex ERDF). Pour valider la solution de raccordement et notamment sa faisabilité technico-économique.

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

A ce titre, ENEDIS a réalisé une pré-étude détaillant la solution. Une extension de réseau HTA sera faite depuis l'ouvrage de prise jusqu'à la centrale. Le réseau existant est capable d'évacuer la charge. Aucun renforcement n'est nécessaire à ce stade.

L'étude précise le coût de raccordement. Ce poste sera repris dans le budget global.

### 2.3.3.2. AMENAGEMENTS PROPRES POUR LA TURBINE VLH

#### 2.3.3.2.1. Travaux de génie civil

Les travaux de génie civil consistent à créer un canal d'amenée permettant d'alimenter la turbine.

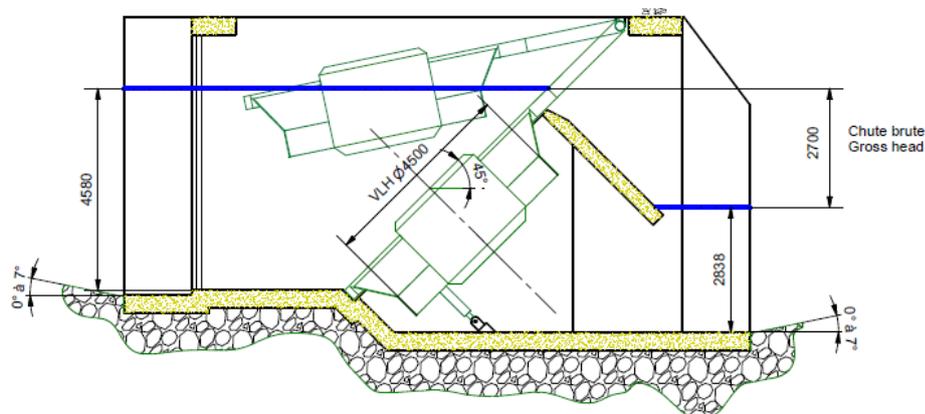
Un local technique sera construit à proximité pour recevoir les différents équipements électriques.

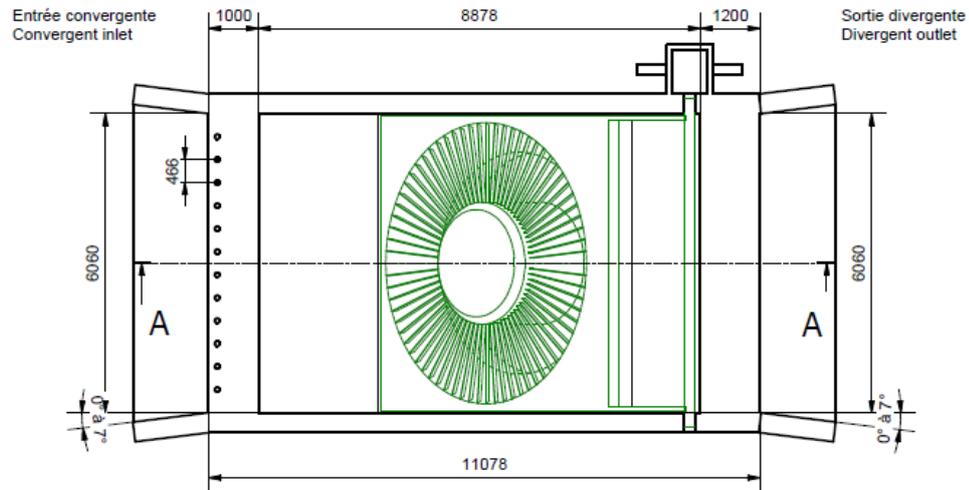
Afin d'alimenter la turbine VLH, les 3 passes seront utilisées au niveau de l'ouvrage de chasse. A l'aval de celui-ci, le canal formera un entonnoir afin de venir accueillir la turbine entre les bajoyers du canal.

La pente du radier du canal d'amenée serait fixé à  $1v/5h$  et la pente du canal de fuite à un angle maximal de  $7^\circ$  de façon à minimiser les pertes de charge.

- Largeur du canal au niveau de la machine : 6 m environ

Une grille d'entrefer 30 cm environ, située en amont doit être prévue afin que les embâcles ne percutent pas la turbine.





**Fig. 7. Plans de principe d'une VLH 4500**

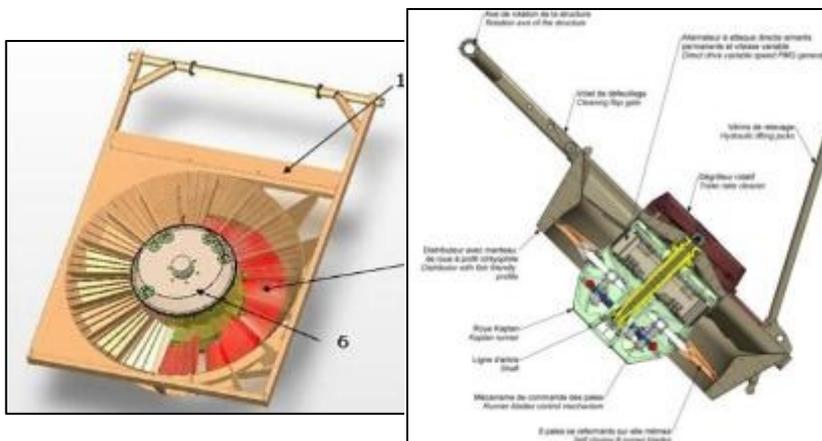
#### 2.3.3.2.2. Equipements électromécaniques

##### A. La turbine

La turbine est un groupe turbogénérateur VLH (Very Low Head), spécialement conçue pour la mise en valeur des très basses chutes d'eau (gamme de chutes nettes de 1,4 à 3,2 m et plus pour les plus petits modèles de la gamme) et aux variations de débit, ce qui permet d'optimiser au maximum la production.

Ces groupes ont fait l'objet d'un dépôt de brevet français en 2003, par la société MJ2 technologies. Le premier groupe VLH a été mis en service sur le site de démonstration de Millau le 19 mars 2007.

La gamme des machines VLH est déclinée en 5 diamètres de roue (3150, 3550, 4000, 4500, 5000 mm) fonctionnant pour une gamme de débit de 10 à 30 m<sup>3</sup>/s. Il en résulte une gamme de puissance nette allant de 100 à 500 kW. A noter que ces machines présentent notamment l'avantage de permettre un fonctionnement jusqu'à une diminution importante de la chute, lorsque le niveau aval remonte, comme c'est le cas en crues.



**Fig. 8. Vue 3D d'une turbine VLH**

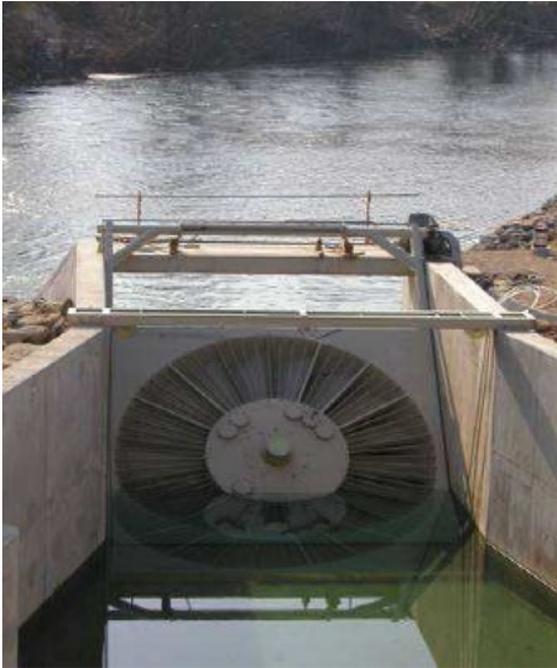


**Fig. 9. Vue d'une roue 5000**

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT



**Fig. 10. Turbine en position de travail avec le chenal amont vide**

**Fig. 11. Turbine en position de travail avec chenal amont rempli**

L'installation d'une turbine de ce type présente d'autre part les avantages suivants :

- Les coûts de génie civil sont réduits de manière importante
- Les tests effectués sur des anguilles, saumons, truites et autres espèces démontrent le caractère ichthyophile de la turbine VLH
- La turbine et le générateur de la VLH sont immergés. La turbine est silencieuse et ne génère aucune vibration.
- La VLH atteint des rendements élevés grâce à un alternateur à aimants permanents (entraînement direct) et à vitesse variable (variateur).

La turbine est pilotée par une station hydraulique pour l'actionnement des pales, dégrilleur et clapet. Celle-ci est située à proximité immédiate afin de sécuriser le fonctionnement (mise en sécurité de la machine en cas d'avarie).

### B. Pré-grille

L'entrée du chenal d'amenée est équipée de grilles de protection permettant de protéger la turbine contre l'entrée de corps-flottants. Au vu de l'emplacement de la centrale sur le chenal d'amenée, peu propice à l'entraînement fréquent de gros corps flottants, le barreaudage de cette grille est proposé avec un entraxe 30 cm, qui constitue un espacement supérieur à celui d'une grille de centrale hydroélectrique classique (environ 10 cm voire moins).

En effet, les turbines VLH sont équipées d'un dégrilleur directement monté sur leur distributeur permettant le dégrillage des éléments venant colmater la grille du distributeur (algues, feuilles, herbes, petite branches, etc.). La grille de protection du chenal d'amenée ne sert qu'à protéger la turbine de l'entrée des flottants de dimension importante (grosses branches).

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

L'obstruction de la grille amont est donc moins probable pour une VLH que pour une centrale classique. Par ailleurs, la conception de l'ouvrage est prévue pour que les éventuels corps flottants venant se bloquer contre la grille d'entrée puissent être évacués au moyen d'une simple intervention de l'exploitant. Au besoin le débit de la centrale pourra être coupé, en cas de placage trop important des flottants contre les grilles.

### C. Vannes de garde

Les vannes de l'ouvrage de chasse seront utilisées comme vanne de garde. Ces vannes présentent les fonctionnalités suivantes :

- 1) Elles permettent le batardeage amont de la centrale sans opération de levage de batardeau extérieur, ce qui facilite grandement les opérations de petite maintenance ou d'inspection, les batardeaux aval étant de plus petites dimensions et souvent manportables.
- 2) En cas de défaillance majeure de l'équipement qui entrainerait un blocage de la turbine en position ouverte (scénario très peu probable), on pourrait être amené à craindre une vidange partielle des chenaux amont par la centrale. Ce scénario pourrait engendrer un impact sur la navigation.

### D. Contrôle commande et puissance

Les équipements annexes de la turbine sont :

- La centrale hydraulique HP ;
- Le compresseur à air ;
- Les appareillages électriques :
  - Le variateur de vitesse ;
  - Le poste HTA (transformateur, disjoncteurs,...) ;
  - Les tableaux électriques de contrôle-commande.

Les équipements électriques seront installés dans un local électrique avec la centrale hydraulique et le boîtier de régulation de l'air comprimé.

#### 2.3.3.3. AMENAGEMENTS PROPRES POUR LES TURBINES KAPLAN

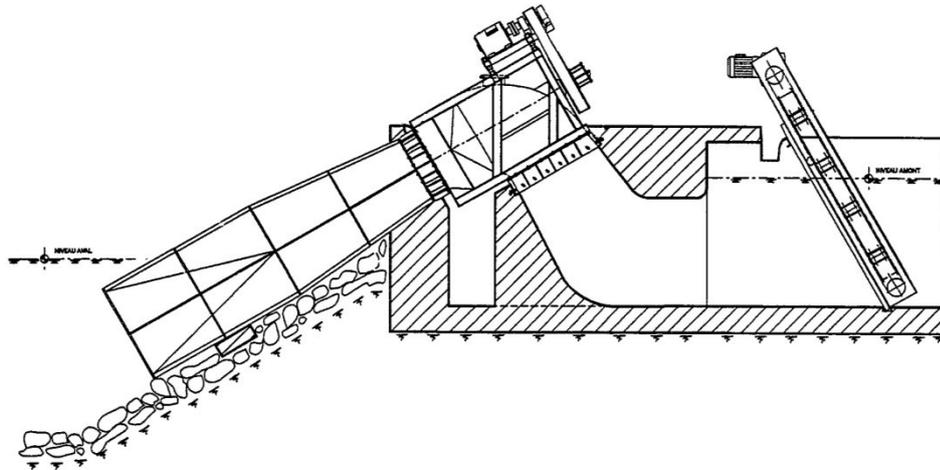
##### 2.3.3.3.1. Travaux de génie civil

Les travaux de génie civil consistent à créer les ouvrages nécessaires pour recevoir les 3 turbines Kaplan en siphon, aussi que les équipements annexes.

Un local technique sera construit à proximité pour recevoir les différents équipements électriques.

Un plan de grille avec dégrilleur sera installé à l'aval des pertuis de l'ouvrage de chasse. La grille reposera sur les voiles béton, servant à créer les 3 canaux des turbines.

Une fosse de réception sera créée à l'aval afin de recevoir les aspirateurs des turbines, en sachant que ceux-ci doivent être immergés.



**Fig. 12. Plans de principe d'une turbine Kaplan en siphon**

#### 2.3.3.3.2. Equipements électromécaniques

##### A. Vanne de garde

Comme pour la VLH, les vannes existantes de l'ouvrage de chasse seront réhabilitées pour être utilisées comme vannes de garde.

##### B. Grille et dégrilleur

Une grille et un dégrilleur seront nécessaires en entrée de turbine. Elles servent à créer une barrière physique pour que les poissons ne puissent traverser les turbines. Afin de respecter les critères de dimensionnement préconisés par l'ONEMA, elle disposera d'un écartement faible (2 cm) et d'une inclinaison faible afin de limiter les vitesses d'approche. Elle sert également à empêcher que des embâcles rentrent dans la turbine.

Un dégrilleur hydraulique sera mis en place afin de venir nettoyer la grille de manière récurrente afin de ne pas perdre de production à cause des pertes de charge de la grille.

## Maitrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT



**Fig. 13. Exemple de grille et dégrilleur**

### C. Les turbines

Les turbines sont des turbines Kaplan en siphon. Elles présentent l'avantage de surélever les génératrices et donc de la situer au-dessus des plus hautes eaux. L'aspirateur étant inversé, les excavations pour la fosse de réception sont moins importantes. Différents constructeurs existent sur le marché, permettant de faire jouer la concurrence lors des consultations.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Nombre de machines : 3
- Hauteur de chute nette : 2,5 m au débit d'équipement
- Débit d'équipement unitaire : 8 m<sup>3</sup>/s
- Débit d'armement : 2 m<sup>3</sup>/s
- Vitesse de rotation : 333 tr/min (indicatif)
- Puissance mécanique : 175 kW
- Puissance électrique : 160 kW
- Tension / fréquence : 400V tri 50 Hz
- Montage : En siphon
- Puissance électrique centrale : 480 kW

### D. Contrôle-commande

Les caractéristiques principales du système de contrôle-commande devront être :

- de transmettre la puissance produite, en transitant par l'armoire de puissance et d'automatisme, jusqu'au réseau H.T.A. ;

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

- d'assurer le fonctionnement automatique de la centrale, la surveillance des sécurités, le contrôle du réseau conformément aux exigences des normes (EDF GTE 2666) et la fourniture d'énergie réactive
- d'alimenter les divers accessoires, et l'éclairage du local turbine conformément aux normes relatives à la protection de personnes et des biens (NFC 15100).

### E. Puissance et protections

L'armoire de puissance comprendra les liaisons puissance entre les génératrices, la batterie de condensateurs et le réseau ERDF. La puissance injectée au réseau étant supérieure à 250 kW, la partie puissance comportera en plus un transformateur 400V/20 kV et un poste HTA.

L'armoire d'automatisme intègre :

- L'automate de contrôle - commande et supervision
- Une station de mesure : U, I, F, P, Q,...
- Les relais de protection
- La commande manuelle et l'arrêt volontaire

L'automatisme est conçu en fonction du besoin d'exploitation et des possibilités offertes par les matériels (vanne de sécurité, pales,...).

Le contrôle-commande est du type « à manque de tension » : en cas de perte de l'alimentation 24 Vcc, la vanne de sécurité se referme tandis que les contacteurs de ligne des génératrices s'ouvrent.

Il est prévu une chaîne tachymétrique comprenant les éléments suivants :

- Indicateur de vitesse
- Vitesse > 95% Vnom (pour couplage)
- Vitesse > 110% Vnom (survitesse électrique)

### F. Traitement des protections

- Protection électrique : découplage immédiat avec ouverture de la soupape et fermeture de la vanne de sécurité et arrêt bloqué du groupe.
- Protection mécanique : ouverture de la soupape et fermeture de la vanne de sécurité, découplage à faible puissance et arrêt bloqué du groupe.
- Protection réseau : découplage immédiat avec ouverture de la soupape et fermeture de la vanne de sécurité et arrêt non bloqué (possibilité de redémarrage après disparition du défaut).
- Arrêt d'urgence (situé sur tableau groupe) : idem protections électriques.

---

## 2.4. ETUDE ECONOMIQUE

### 2.4.1. Etude de productible

#### 2.4.1.1. METHODOLOGIE DE L'ESTIMATION DU PRODUCTIBLE ENERGETIQUE

Le productible est estimé jour par jour sur les 8 années de données disponibles, en tenant compte :

- des données hydrologiques et de la précision (étendue de la série de données),
- du débit réservé,
- d'un temps d'immobilisation de la machine estimé à 5 % du temps pour sa maintenance,
- du débit d'équipement retenu pour la centrale,
- des rendements de conversion de la turbine et de la génératrice asynchrone (\*),
- de la variation de la hauteur de chute en fonction du débit,
- d'un arrêt de la machine en dessous d'un débit d'armement.

(\*) en tenant compte chaque jour des rendements à débits partiels de la turbine et de la génératrice asynchrone.

#### 2.4.1.2. TURBINE VLH 4500

##### 2.4.1.2.1. Débit d'équipement

Pour une turbine VLH, le débit d'équipement, à savoir le débit maximal turbinable, est donné par le constructeur.

La table ci-dessous indique le débit pour la chute brute.

# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

Maximum discharge per unit in m<sup>3</sup>/s  
Débit maximum par groupe en m<sup>3</sup>/s

		Runner diameters in mm Diamètres de roue en mm					
Hbrute		3150	3550	4000	4500	5000	
Gross Head in meter Hauteur de chute brute en m	1,5		10,5	13,4	16,9	20,9	1,4
	1,6	8,6	10,9	13,8	17,5	21,6	1,5
	1,7	8,8	11,2	14,2	18,0	22,2	1,6
	1,8	9,1	11,5	14,6	18,5	22,9	1,7
	1,9	9,3	11,9	15,0	19,0	23,5	1,8
	2,0	9,6	12,2	15,4	19,5	24,1	1,9
	2,1	9,8	12,5	15,8	20,0	24,7	2,0
	2,2	10,0	12,8	16,2	20,5	25,3	2,1
	2,3	10,3	13,0	16,6	21,0	25,9	2,2
	2,4	10,5	13,3	16,9	21,4	26,4	2,3
	2,5	10,7	13,6	17,3	21,8	27,0	2,4
	2,6	10,9	13,9	17,6	22,3	27,7	2,5
	2,7	11,1	14,1	17,9	22,7	28,3	2,6
	2,8	11,3	14,4	18,3	23,1	28,9	2,7
	2,9	11,5	14,6	18,6	23,5	29,5	2,8
	3,0	11,7	14,9	18,9	23,9	30,1	2,9
	3,1	11,9	15,1	19,2	24,3	30,7	3,0
	3,2	12,1	15,4	19,5	24,7	31,3	3,1
	3,3	12,3	15,6	19,8	25,1	31,9	3,2
	3,4	12,5	15,9	20,1	25,5	32,5	3,3
3,5	12,7	16,2	20,4	25,9	33,1	3,4	
3,6	12,9	16,5	20,7	26,3	33,7	3,5	
3,7	13,1	16,8	21,0	26,7	34,3	3,6	
3,8	13,3	17,1	21,3	27,1	34,9	3,7	
3,9	13,5	17,4	21,6	27,5	35,5	3,8	
4,0	13,7	17,7	21,9	27,9	36,1	3,9	
4,1	13,9	18,0	22,2	28,3	36,7	4,0	
4,2	14,1	18,3	22,5	28,7	37,3	4,1	
4,3	14,3	18,6	22,8	29,1	37,9	4,2	
4,4	14,5	18,9	23,1	29,5	38,5	4,3	
4,5	14,7	19,2	23,4	29,9	39,1	4,4	

Not available / Non disponible  
 Structure renforcée / Reinforced structure

**Fig. 14. Table des débits d'équipement des VLH**

Dans le cas présent, le débit est de 22,7 m<sup>3</sup>/s.

$$Q_{\text{équipement}} = 22,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 2.4.1.2.2. Productible

Les tableaux ci-après donnent la production d'électricité en kWh pour chacun des mois de débits disponibles, pour une machine permettant de transiter un débit maximal de 22,7 m<sup>3</sup>/s sous une chute variable en fonction du débit.

Les résultats consignés dans les tableaux ci-dessous sont les moyennes mensuelles des 17 années disponibles.

# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

	1997	1998	2001	2002	2003	2004
Janvier	228 763	171 901	211 117	207 923	177 309	170 467
Février	157 984	245 704	207 423	139 598	224 631	216 850
Mars	261 139	256 044	105 211	169 643	237 238	270 448
Avril	101 308	183 942	163 980	202 364	124 377	250 507
Mai	223 349	188 660	245 023	225 600	118 227	193 289
Juin	64 748	163 597	209 139	79 692	10 938	51 949
Juillet	172 135	-	143 610	-	3 728	29 401
Août	3 048	26 581	28 404	17 097	-	140 411
Septembre	-	132 099	168 947	13 864	-	101 926
Octobre	88 373	221 590	233 811	112 989	95 264	178 022
Novembre	200 768	162 218	215 989	114 431	207 960	243 125
Décembre	178 850	110 429	194 536	214 780	226 471	239 185

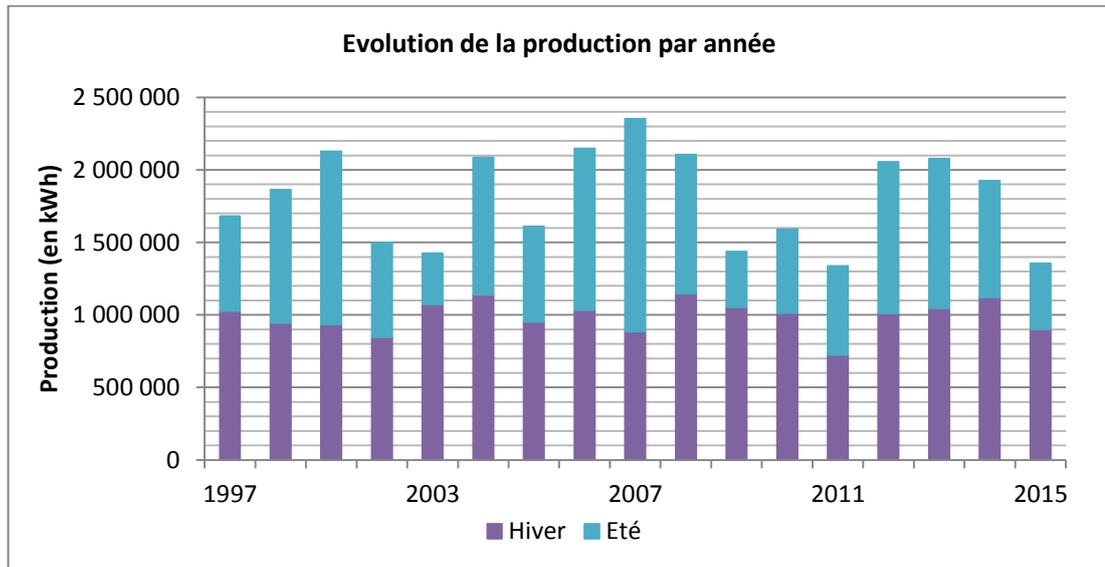
<b>Total</b>	1 680 465	1 862 763	2 127 189	1 497 982	1 426 142	2 085 582
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Janvier	220 767	239 076	167 879	224 458	201 835	251 671
Février	224 845	142 407	177 651	226 235	214 376	183 596
Mars	261 911	150 926	178 675	200 833	212 230	244 025
Avril	220 803	205 027	229 049	182 405	231 186	161 199
Mai	261 304	264 063	234 394	189 320	20 719	36 247
Juin	75 076	144 577	264 683	130 100	20 485	61 968
Juillet	42 674	-	243 173	-	100 815	-
Août	5 637	160 467	253 576	68 797	9 220	127 225
Septembre	18 537	149 240	185 617	161 826	-	121 754
Octobre	32 320	190 365	56 905	226 262	-	67 143
Novembre	28 214	258 405	170 861	243 512	219 528	180 869
Décembre	217 406	243 716	190 126	252 561	205 954	154 252

<b>Total</b>	1 609 494	2 148 268	2 352 588	2 106 308	1 436 348	1 589 949
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

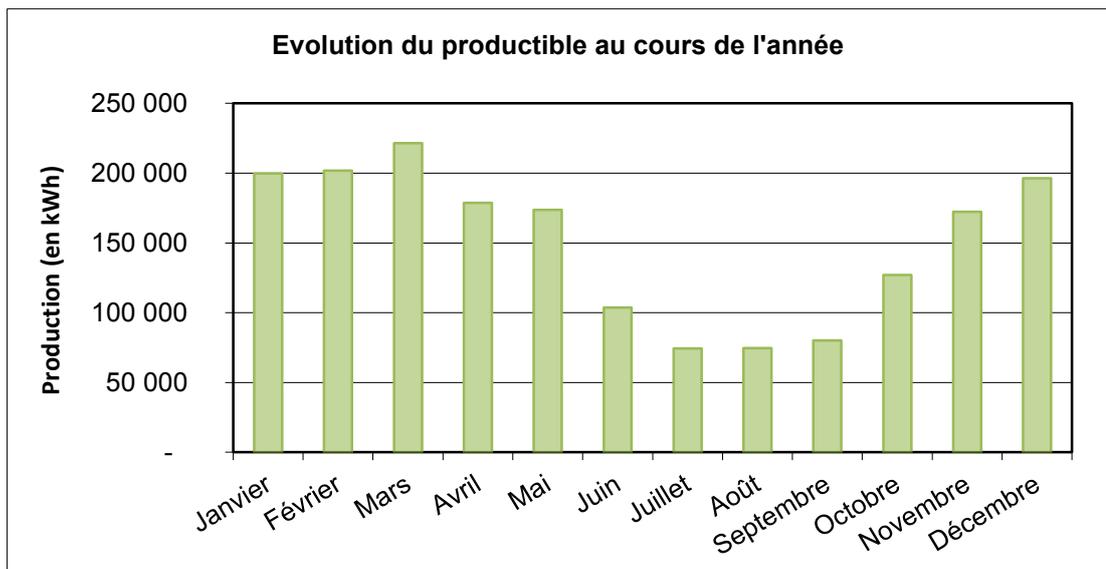
	2011	2012	2013	2014	2015	Moyenne
Janvier	173 665	126 767	226 603	229 512	166 273	199 764
Février	244 514	242 792	169 320	184 768	228 537	201 837
Mars	192 361	278 909	239 726	266 343	240 121	221 517
Avril	90 328	195 415	215 796	58 469	223 502	178 803
Mai	2 640	259 361	198 798	93 846	196 957	173 635
Juin	42 822	199 975	224 867	-	19 497	103 771
Juillet	147 928	155 985	79 168	145 703	-	74 372
Août	187 466	-	-	241 689	-	74 683
Septembre	36 415	35 593	143 680	77 580	13 968	80 061
Octobre	105 502	198 722	167 424	185 372	-	127 063
Novembre	-	209 760	158 677	244 658	71 231	172 365
Décembre	114 242	152 693	251 817	196 243	195 466	196 396

<b>Total</b>	1 337 884	2 055 971	2 075 877	1 924 183	1 355 552	1 804 267
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------



**Fig. 15. Evolution du productible par année – turbine VLH**

La production moyenne sur 17 ans s'élève à **1 804 MWh**, elle se répartit comme suit au cours de l'année :



**Fig. 16. Evolution du productible au cours de l'année – turbine VLH**

#### 2.4.1.3. TURBINES KAPLAN

##### 2.4.1.3.1. Débit d'équipement

Pour les turbines Kaplan, le choix du débit d'équipement est plus libre.

Dans le cas présent, un débit d'équipement est choisi en fonction de la puissance injectée, afin qu'elle ne dépasse pas 500 kW (lié au contrat d'achat). Cela revient à 24 m<sup>3</sup>/s, soit 3 x 8 m<sup>3</sup>/s.

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

Lors du diagnostic, il a été évoqué le passage à 2 turbines, cependant, sur cette gamme de machine (diamètre supérieur à 2000 mm), les produits ne sont plus standards, venant renchérir le coût.

$$Q_{\text{équipement}} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 2.4.1.3.2. Productible

Les tableaux ci-après donnent la production d'électricité en kWh pour chacun des mois de débits disponibles, pour une machine permettant de transiter un débit maximal de 24 m<sup>3</sup>/s sous une chute variable en fonction du débit.

Les résultats consignés dans les tableaux ci-dessous sont les moyennes mensuelles des 17 années disponibles.

	1997	1998	2001	2002	2003	2004
Janvier	256 902	200 272	245 413	236 694	206 341	191 569
Février	175 520	269 472	241 220	162 631	253 989	252 047
Mars	298 478	291 455	122 828	197 516	266 049	301 400
Avril	109 966	212 240	191 108	219 462	139 720	277 861
Mai	248 840	213 919	280 905	250 166	126 892	212 528
Juin	76 257	186 431	230 628	89 500	13 315	59 030
Juillet	193 627	-	157 787	-	4 528	32 357
Août	4 005	30 842	32 402	21 338	-	161 352
Septembre	-	149 521	193 075	15 595	-	113 643
Octobre	100 295	250 039	260 208	131 028	106 733	206 395
Novembre	230 420	188 875	241 132	133 614	230 443	277 085
Décembre	208 319	128 381	216 480	248 770	254 391	270 621
<b>Total</b>	<b>1 902 629</b>	<b>2 121 445</b>	<b>2 413 187</b>	<b>1 706 314</b>	<b>1 602 400</b>	<b>2 355 889</b>

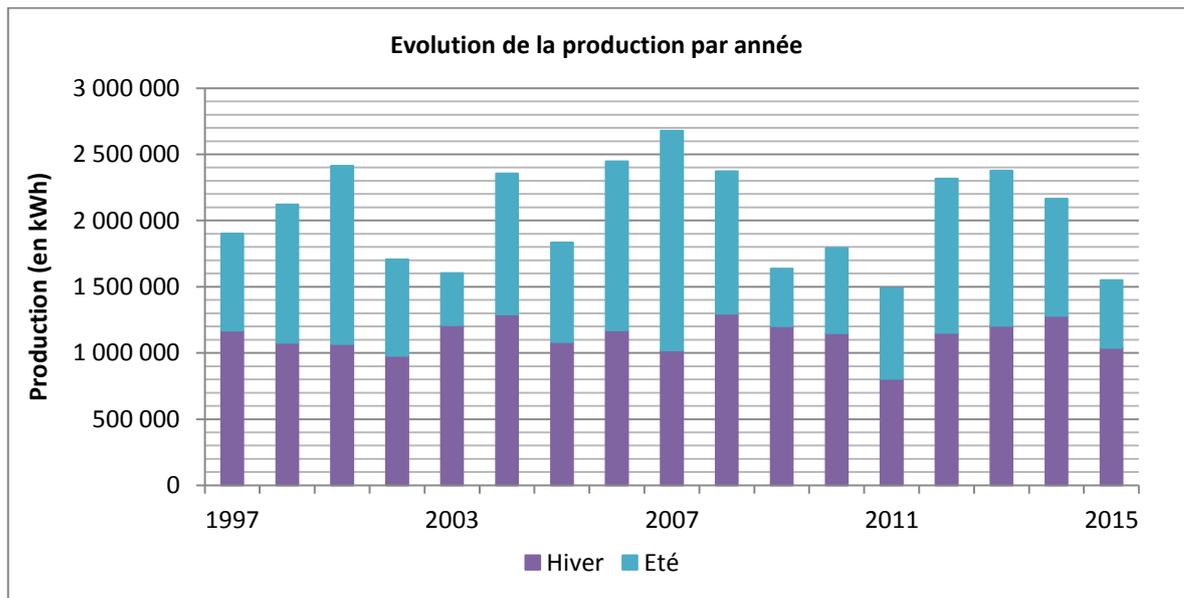
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Janvier	256 668	264 721	195 342	255 723	226 595	281 827
Février	258 970	165 498	206 885	251 233	245 633	205 668
Mars	295 818	175 679	207 785	233 648	246 922	277 726
Avril	256 245	238 477	253 972	212 292	262 068	182 433
Mai	300 965	297 719	265 575	211 384	25 426	39 819
Juin	82 050	166 533	302 918	142 011	21 889	70 316
Juillet	47 182	-	279 580	-	114 072	-
Août	7 629	182 291	291 315	78 307	10 471	142 903
Septembre	20 907	169 642	201 127	180 201	-	133 135
Octobre	36 728	221 480	65 205	250 458	-	75 552
Novembre	31 031	292 747	192 909	270 247	248 193	210 499
Décembre	240 299	272 528	216 212	285 704	235 393	174 345
<b>Total</b>	<b>1 834 491</b>	<b>2 447 314</b>	<b>2 678 825</b>	<b>2 371 208</b>	<b>1 636 662</b>	<b>1 794 224</b>

	2011	2012	2013	2014	2015	Moyenne
Janvier	202 214	147 861	263 438	266 858	193 715	228 950
Février	264 239	277 960	197 124	214 893	265 570	229 915
Mars	205 840	309 959	278 629	299 887	278 435	252 239
Avril	98 600	214 733	244 394	65 715	250 032	201 725
Mai	3 667	293 184	231 321	103 031	222 486	195 754
Juin	47 941	219 456	250 076	-	23 051	116 553
Juillet	163 217	171 446	88 136	160 179	-	83 065
Août	209 345	-	-	265 541	-	84 573
Septembre	44 392	39 798	161 917	85 280	15 159	89 611
Octobre	116 367	224 246	194 650	205 721	-	143 830
Novembre	-	239 062	184 884	273 779	83 323	195 779
Décembre	133 328	178 025	282 071	223 886	218 296	222 768
<b>Total</b>	<b>1 489 151</b>	<b>2 315 731</b>	<b>2 376 641</b>	<b>2 164 771</b>	<b>1 550 067</b>	<b>2 044 762</b>

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

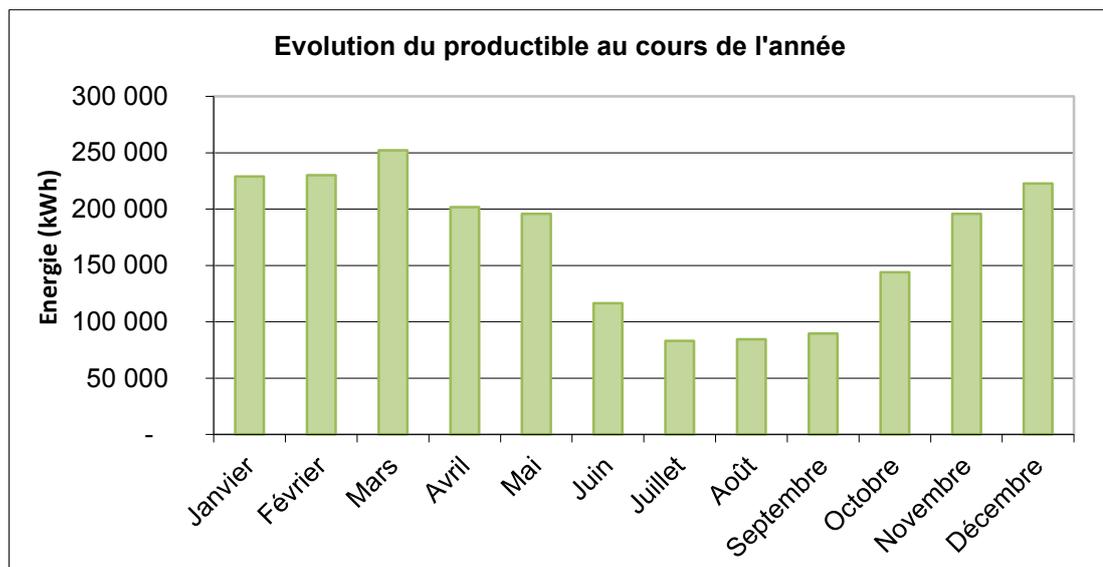
Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT



**Fig. 17. Evolution du productible en fonction des années – Kaplan**

La production moyenne sur 17 ans s'élève à 2 044 MWh, elle se répartit comme suit au cours de l'année :



**Fig. 18. Evolution du productible au cours de l'année – turbine Kaplan**

### 2.4.2. Chiffre d'affaire

Les contrats d'obligation d'achat sont modifiés au 1<sup>er</sup> janvier 2016. Les contrats H07 seront remplacés par un nouveau dispositif.

Pour des puissances inférieures à 500 kW, le mécanisme reste identique ; seule la grille tarifaire est modifiée. Les informations devront être confirmées, le tableau ci-dessous étant basé sur un projet d'arrêté.

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

**Tabl. 2 - Projet de grille tarifaire à partir du 1<sup>er</sup> Janvier 2016**

Projet de nouvelle grille tarifaire		Centrales neuves de basse chute
Tarif à 1 composante		132
Tarif à 2 composantes	été	96
	hiver	182

### 2.4.2.1. TURBINE VLH 4500

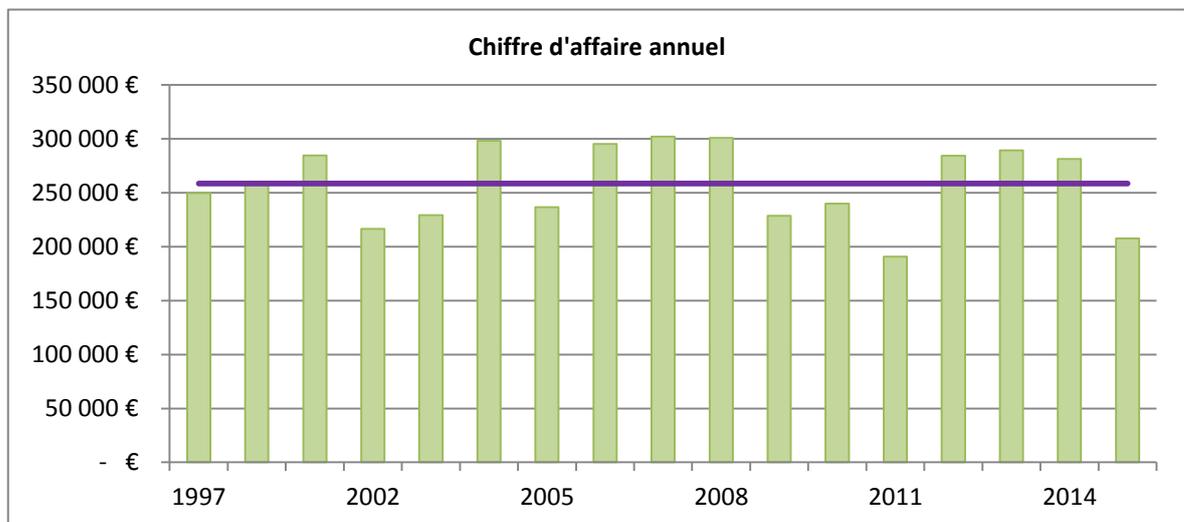
Le chiffre d'affaire, calculé à partir des tarifs à 1 et 2 composante est donné ci-après :

**Tabl. 3 - Chiffre d'affaire moyen prévisionnel - VLH**

Tarif	Chiffre d'affaire moyen
Une composante	238 163 €
Deux composantes – Été / Hiver	<b>258 511 €</b>

Un tarif à 2 composantes est plus intéressant pour ce projet.

Le graphique ci-dessous présente le chiffre d'affaire annuel. Le faible débit d'équipement par rapport à l'hydrologie importante permet d'avoir de faible variation d'une année sur l'autre.



**Fig. 19. Chiffre d'affaire annuel – VLH**

En moyenne, sur les 17 ans observés, la recette moyenne annuelle avec le tarif à deux composantes s'élève à **258 500 € H.T.**

### 2.4.2.2. TURBINES KAPLAN

Le chiffre d'affaire, calculé à partir des tarifs à 1 et 2 composante est donné ci-après :

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

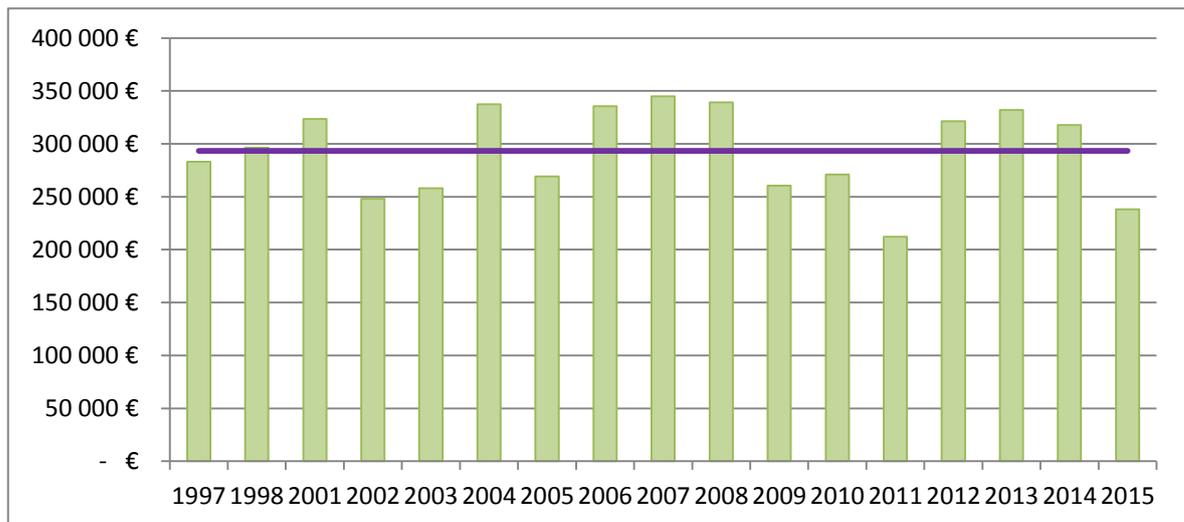
Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

**Tabl. 4 - Chiffre d'affaire moyen prévisionnel - Kaplan**

Tarif	Chiffre d'affaire moyen
Une composante	269 909 €
Deux composantes – Été / Hiver	<b>293 447 €</b>

Un tarif à 2 composantes est plus intéressant pour ce projet.

Le graphique ci-dessous présente le chiffre d'affaire annuel. Le faible débit d'équipement par rapport à l'hydrologie importante permet d'avoir de faible variation d'une année sur l'autre.



**Fig. 20. Chiffre d'affaire annuel - Kaplan**

En moyenne, sur les 17 ans observés, la recette moyenne annuelle avec le tarif à deux composantes s'élève à **293 400 € H.T.**

## 2.5. COUT D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation pris en compte concernent :

- la main d'œuvre pour l'entretien courant des installations estimée à 4h par semaine valorisée à 400 € HT / jour, soit environ 10 000 € H.T. / an,
- Des frais pour le petit matériel de maintenance estimée à 0,7 % du montant de l'investissement sur le lot électromécanique / électricité,
- Des frais de provision pour le renouvellement du gros matériel, estimé à 0,3 % des équipements électromécaniques
- l'assurance évaluée à 3% de la recette annuelle,

**Tabl. 5 - Cout d'exploitation - Ouvrage de chasse**

	Projet VLH	Projet turbines Kaplan
Coût d'exploitation	25 750 €	27 250 €

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

### 2.6. BUDGET PREVISIONNEL

Le budget de travaux pour la production hydroélectrique est donné ci-dessous pour chacun des 2 scénarios

#### 2.6.1. TURBINE VLH

Phase travaux et/ou fournitures	Unité	Qté	PUHT	Budget H.T.
<b>Ouvrage de chasse</b>				
Réhabilitation des organes de manœuvre	U	3	1 500,00	4 500,00
Motivisation des vannes	U	3	2 500,00	7 500,00
<b>Sous total ouvrage de chasse :</b>				<b>12 000,00</b>
<b>Génie civil / Implantation turbine</b>				
Pré-grille	U	1	7 500,00	7 500,00
Implantation turbine et aspirateur	U	1	600 000,00	600 000,00
Création local technique	U	1	50 000,00	50 000,00
<b>Sous total génie civil :</b>				<b>657 500,00</b>
<b>Electromécanique, commande et puissance</b>				
<i>Ensemble turbine complet, incluant groupe turbine/alternateur - convertisseurs et contrôle-commande et circuit puissance (cellules HTA et transformateur)</i>				
Turbine complète type VLH 2.5m - 22m3/s	U	1	800 000,00	800 000,00
<b>Sous total électromécanique, commande et puissance :</b>				<b>800 000,00</b>
<b>Divers</b>				
Raccordement au réseau électrique	U	1	35 000,00	35 000,00
Aléas	%	5	73 475,00	73 475,00
<b>Sous total HT Divers :</b>				<b>108 475,00</b>
<b>Ingénierie</b>				
Missions annexes (demande de raccordement, porté à connaissance)	U	1	20 000,00	20 000,00
Mission de maîtrise d'œuvre	%	8	117 560,00	117 560,00
<b>Sous total Ingénierie :</b>				<b>137 560,00</b>
<b>Budget total H.T. :</b>				<b>1 715 535,00</b>
TVA 20% :				<b>343 107,00</b>
Budget total TTC :				<b>2 058 642,00</b>

#### 2.6.2. Turbines Kaplan

Phase travaux et/ou fournitures	Unité	Qté	PUHT	Budget H.T.
<b>Ouvrage de chasse</b>				
Réhabilitation des organes de manœuvre	U	3	1 500,00	4 500,00
Motivisation des vannes	U	3	2 500,00	7 500,00
<b>Sous total ouvrage de chasse :</b>				<b>12 000,00</b>

# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

Génie civil / Implantation turbine				
Grille et dégrilleur	U	1	55 000,00	55 000,00
Implantation turbine et aspirateur	U	1	550 000,00	550 000,00
Création local technique	U	1	50 000,00	50 000,00
<b>Sous total génie civil :</b>				<b>655 000,00</b>
Electromécanique, commande et puissance				
<b>Electromécanique</b>				
Turbine Kaplan 2.5m - 20 m3/s double réglage en siphon	U	3	180 000,00	540 000,00
Génératrice asynchrone 160 kW 400V 50 Hz - 750 trs/min	U	3	45 000,00	135 000,00
Groupe de commande hydraulique turbine	U	1	7 500,00	7 500,00
<b>Contrôle-commande</b>				
Armoire de contrôle commande (y/c condensateurs)	U	1	60 000,00	60 000,00
Ensemble de capteurs (contrôle de niveau et turbine)	U	1	5 000,00	5 000,00
Coffret relais de protection réseau	U	1	5 000,00	5 000,00
<b>Circuit puissance</b>				
Tableau basse tension de puissance (condensateurs)	U	1	15 000,00	15 000,00
Equipements électriques de puissance HTA 20 kV	U	1	55 000,00	55 000,00
Transformateur de puissance 630 kVA - 400V / 20 kV	U	1	25 000,00	25 000,00
<b>Sous total électromécanique, commande et puissance :</b>				<b>847 500,00</b>
Divers				
Raccordement au réseau électrique	U	1	35 000,00	35 000,00
Aléas	%	5	75 725,00	75 725,00
<b>Sous total HT Divers :</b>				<b>110 725,00</b>
Ingénierie				
Missions annexes (demande de raccordement, porté à connaissance)	U	1	20 000,00	20 000,00
Mission de maîtrise d'œuvre	%	8	121 160,00	121 160,00
<b>Sous total Ingénierie :</b>				<b>141 160,00</b>
<b>Budget total H.T. :</b>				<b>1 766 385,00</b>
TVA 20% :				<b>353 277,00</b>
<b>Budget total TTC :</b>				<b>2 119 662,00</b>

## 2.7. RENTABILITE

Le temps de retour est calculé de la manière suivante :  $TR = \frac{\text{Investissements}}{\text{CA} - \text{dépenses d'exploitation}}$

**Tabl. 6 - Temps de retour – Ouvrage de chasse**

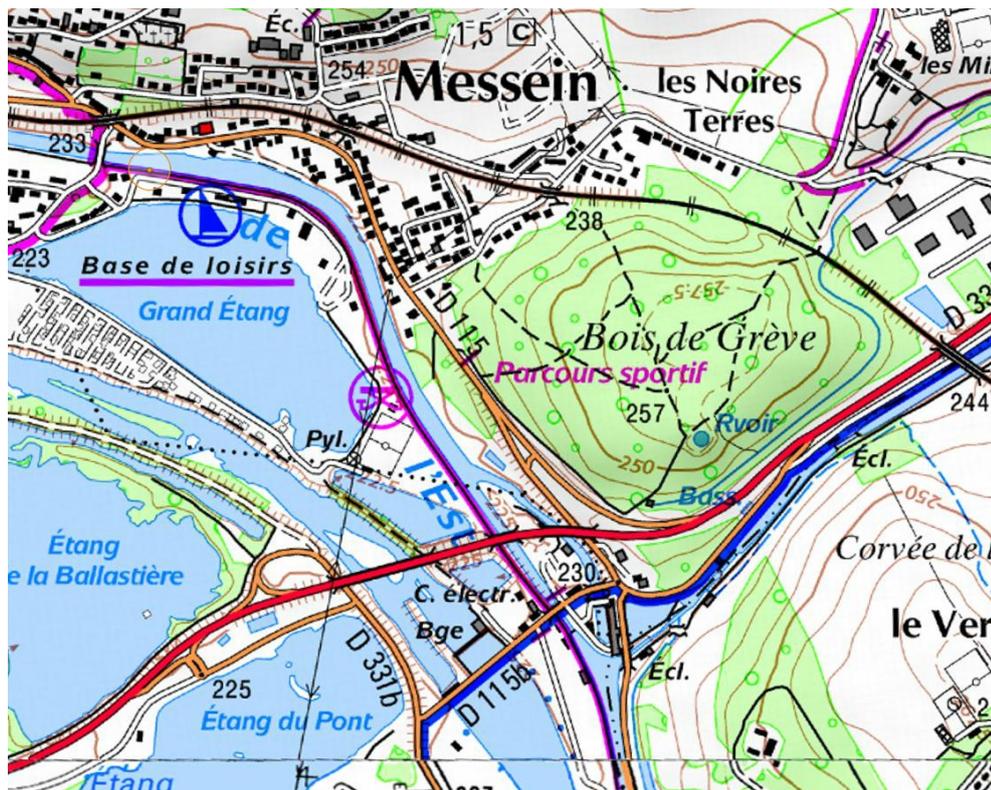
	Projet VLH	Projet turbines Kaplan
Temps de retour	≈ 7,5 ans	≈ 7 ans

### 3. USINE ELEVATRICE DE MESSEIN

#### 3.1. PRESENTATION DU SITE

L'usine élévatrice de Messein est équipée de 4 pompes, permettant de relever l'eau pour alimenter l'embranchement de Nancy.

Le site se situe sur la commune de Messein, dans le département de Meurthe-et-Moselle.

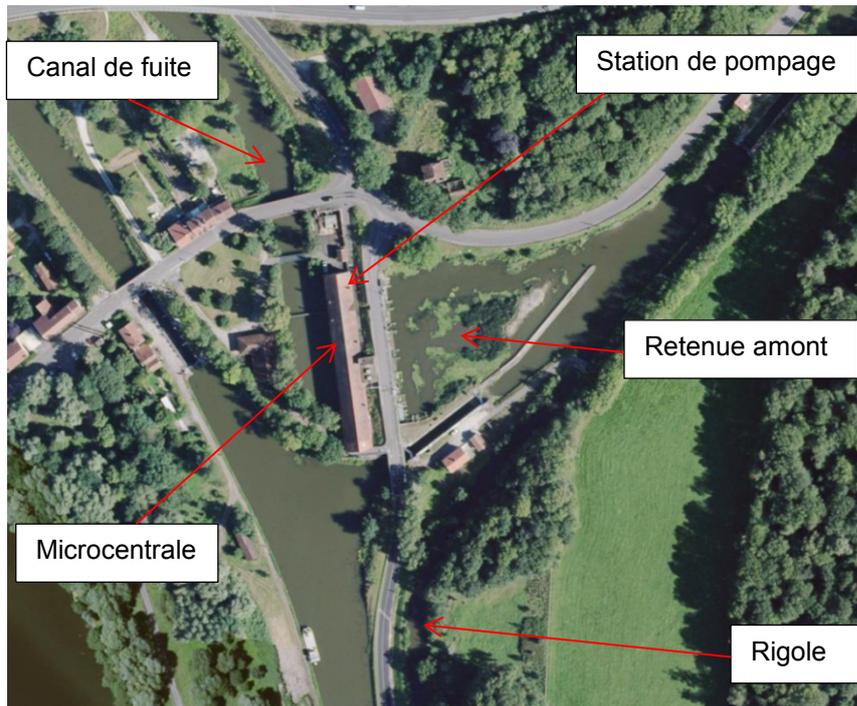


**Fig. 21. Localisation sur plan IGN**

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT



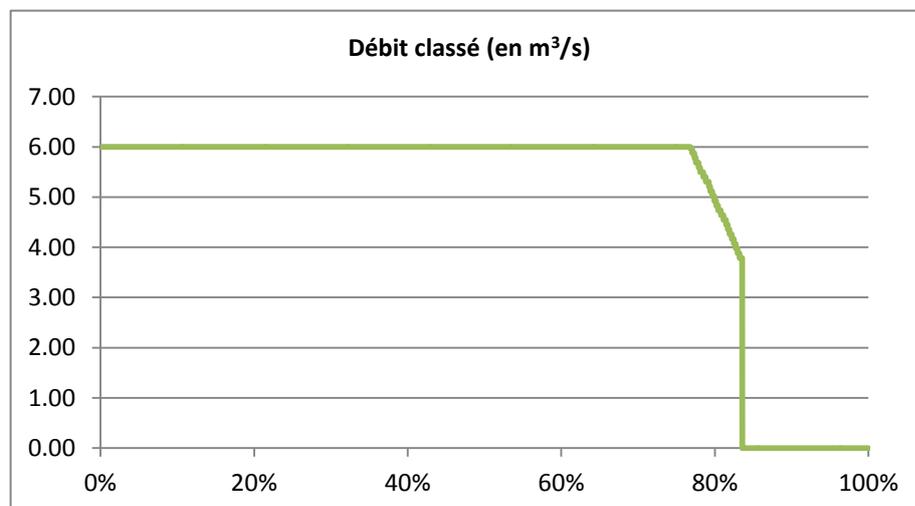
**Fig. 22. Localisation sur vue aérienne**

### 3.2. DONNEES DE BASE

#### 3.2.1. Hydrologie

Le débit de 6 m<sup>3</sup>/s serait disponible dès l'atteinte d'un débit de 13,75 m<sup>3</sup>/s à Tonnoy (le prélèvement autorisé est de 7,75 m<sup>3</sup>/s). L'analyse du débit disponible à Messein peut donc totalement se dissocier de celle de l'ouvrage de chasse.

Le graphe ci-dessous montre la courbe des débits classés turbinable à Messein. Le débit de 6 m<sup>3</sup>/s est disponible plus de 80% du temps. La configuration du site génère que très peu de débit partiel.



**Fig. 23. Débits turbinables à Messein classés**

---

### 3.2.2. Hauteur de chute

#### 3.2.2.1. TOPOGRAPHIE

Le site a fait l'objet d'un levé topographique. La hauteur de chute brute maximale est de 6,1 m à l'étiage.

#### 3.2.2.2. VARIATION DE NIVEAUX ET CHUTE

La modélisation de différents débits dans la rigole de 1 à 6,45 m<sup>3</sup>/s a permis de montrer que l'impact reste très faible au niveau des biefs navigables (incidence centimétrique) et que seule la rigole des eaux motrices était contrainte à former une pente hydraulique relativement forte.

Finalement, la hauteur de chute est constante au niveau de l'usine de Messein et est de 6 m.

## 3.3. ETUDE TECHNIQUE

### 3.3.1. Débit d'équipement

Le débit d'équipement est limité par l'installation existante.

Le groupe existant a un débit d'équipement de 3 m<sup>3</sup>/s. Celui-ci est conservé pour le remplacement de la turbine.

La seconde passe, pouvant être équipée, dispose des mêmes caractéristiques.

Le débit d'équipement sera donc de 3 m<sup>3</sup>/s par turbine, soit un maximum de 6 m<sup>3</sup>/s pour la centrale.

### 3.3.2. Type de machine approprié au site

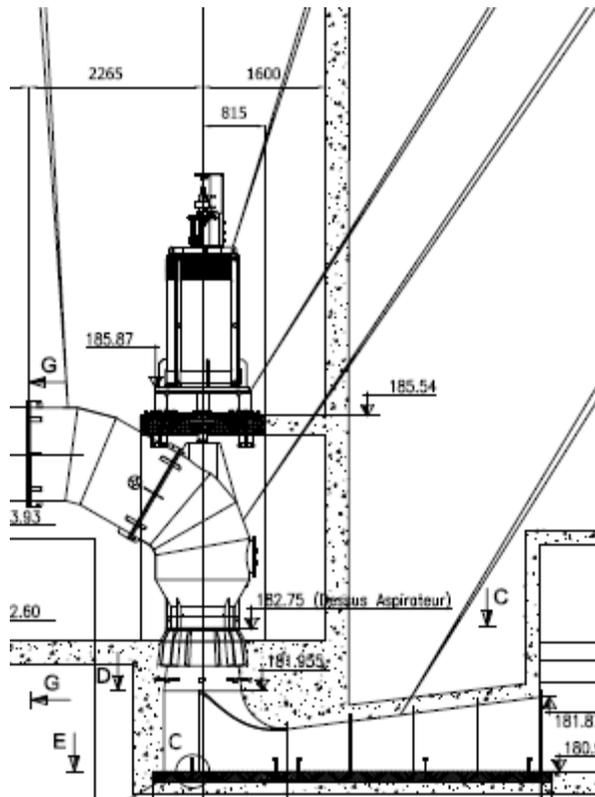
La turbine existant est une turbine Kaplan à bêche spirale.

En première approche, la réflexion s'est portée sur le remplacement de la turbine existant par une turbine Kaplan de type Saxo. Ce choix aurait permis de réduire en partie les coûts, la turbine étant moins onéreuse. Cependant, après analyse, il s'avère que la place disponible n'est pas suffisante pour mettre en place le coude de la turbine.

# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

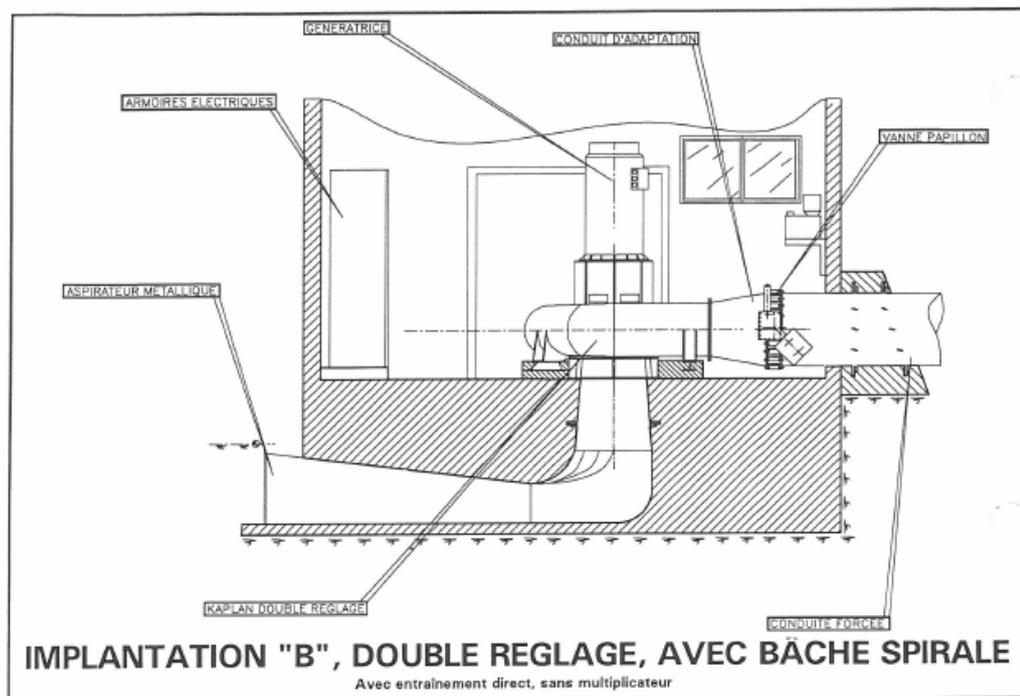
Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT



**Fig. 24. Exemple de turbine Kaplan Saxo**

Un remplacement à l'identique est donc privilégié. La turbine sera donc de type Kaplan à bêche spirale.



**Fig. 25. Schéma d'une turbine Kaplan en bêche spirale**

### 3.3.3. Définitions des travaux à réaliser

Les travaux consistent pour la plupart, à remplacer les équipements actuels, ceux-ci étant vétustes, voire démontés.

#### 3.3.3.1. PRISE D'EAU

Les deux prises d'eau sont existantes. D'un point de vue génie civil, elles nécessitent un rejointement des maçonneries comme l'ensemble de l'usine de Messein (voir AVP 1).

Les prises disposent de grilles. Celles-ci seront remises à neuf. Selon les préconisations de l'ONEMA, l'écartement entre barreaux sera adapté.

Les prises seront munies de dégrilleurs hydrauliques à bras, afin de nettoyer les grilles de manière autonome, et donc de réduire les pertes par colmatage.

Les vannes de tête, de type levantes, actionnées par vérins hydrauliques, pourraient être conservées et rénovées. Leur remplacement pourrait être demandé en option afin de vérifier leur état au démontage.



**Fig. 26.** *Vue des prises d'eau du pompage et du turbinage*

#### 3.3.3.2. CONDUITE D'AMENEE

Les conduites d'amenée sont également existantes et en place. Elles permettent de traverser le barrage et d'entrer dans l'usine de Messein.

D'une longueur de 20m environ et de diamètre 1 300 mm, elles sont d'origine. Afin de reprendre l'étanchéité et de conforter leur maintien à la pression, il est proposé de réaliser un chemisage par l'intérieur. Cela consiste à venir recharger la conduite par l'intérieur.

### 3.3.3.3. CENTRALE

#### 3.3.3.3.1. Démontage des équipements et travaux de génie civil

Les équipements existants seront déposés en totalité à savoir :

- Alternateur
- Turbine
- Armoires électriques

Les brides existantes sur les conduites seront les points limites.

Il sera nécessaire de desceller la turbine pour son démontage.

Concernant l'aspirateur des turbines, il est préconisé de démolir l'existant afin de venir l'insérer. Le nouvel aspirateur sera calculé par le turbinier, permettant d'améliorer les performances et également de les garantir.

Dans le cas où les dimensions de celui-ci seraient connues avec précisions, il pourrait être réutilisé après validation par le turbinier.

Concernant la passe non équipée, l'aspirateur a été comblé en gros béton. Celui-ci devra être rouvert afin de mettre en place le nouvel aspirateur.

#### 3.3.3.3.2. Equipements électromécaniques

##### A. Turbines

Les turbines sont des turbines Kaplan en bêche spirale. Le remplacement à l'identique permet de venir s'intégrer dans le génie civil du bâtiment existant.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Nombre de machines : 1 ou 2 turbines
- Hauteur de chute nette : 6 m au débit d'équipement
- Débit d'équipement unitaire : 3 m<sup>3</sup>/s
- Débit d'armement : 750 l/s
- Vitesse de rotation : 500 tr/min (indicatif)
- Puissance mécanique unitaire : 160 kW
- Puissance électrique unitaire : 150 kW
- Tension / fréquence : 400V tri 50 Hz
- Montage : En spirale, en bout de conduite

##### B. Armoires électriques

Comme pour l'ouvrage de chasse (voir § 2.3.3.3.2), la centrale disposera d'une armoire de contrôle-commande et de puissance permettant de piloter les équipements et d'injecter l'électricité sur le réseau ERDF.

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

### 3.4. ETUDE ECONOMIQUE

#### 3.4.1. Etude de productible

L'étude de productible a été réalisée pour les 2 configurations, à savoir le rééquipement avec 1 ou 2 turbines de 3 m<sup>3</sup>/s.

##### 3.4.1.1. EQUIPEMENT AVEC LES 2 TURBINES

Les tableaux ci-après donnent la production d'électricité en kWh pour chacun des mois de débits disponibles, pour deux machines permettant de transiter un débit total de 6 m<sup>3</sup>/s sous une chute de 6 m.

Les résultats consignés dans les tableaux ci-dessous sont les moyennes mensuelles des 17 années disponibles.

	1997	1998	2001	2002	2003	2004
Janvier	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
Février	176 128	176 128	176 128	176 128	176 128	176 128
Mars	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
Avril	140 368	188 708	188 708	188 708	188 708	188 708
Mai	194 999	194 999	194 999	194 999	187 214	194 999
Juin	157 032	188 677	188 708	154 196	56 371	146 370
Juillet	192 944	25 020	190 758	-	22 210	104 827
Août	86 303	59 988	135 162	99 895	-	149 929
Septembre	14 693	159 438	173 182	87 361	-	156 948
Octobre	102 757	194 999	194 999	169 167	151 260	194 999
Novembre	157 257	188 708	188 708	188 708	188 708	188 708
Décembre	194 999	81 774	194 999	194 999	194 999	194 999
<b>Total</b>	<b>1 807 474</b>	<b>1 848 435</b>	<b>2 216 348</b>	<b>1 844 157</b>	<b>1 555 596</b>	<b>2 086 611</b>

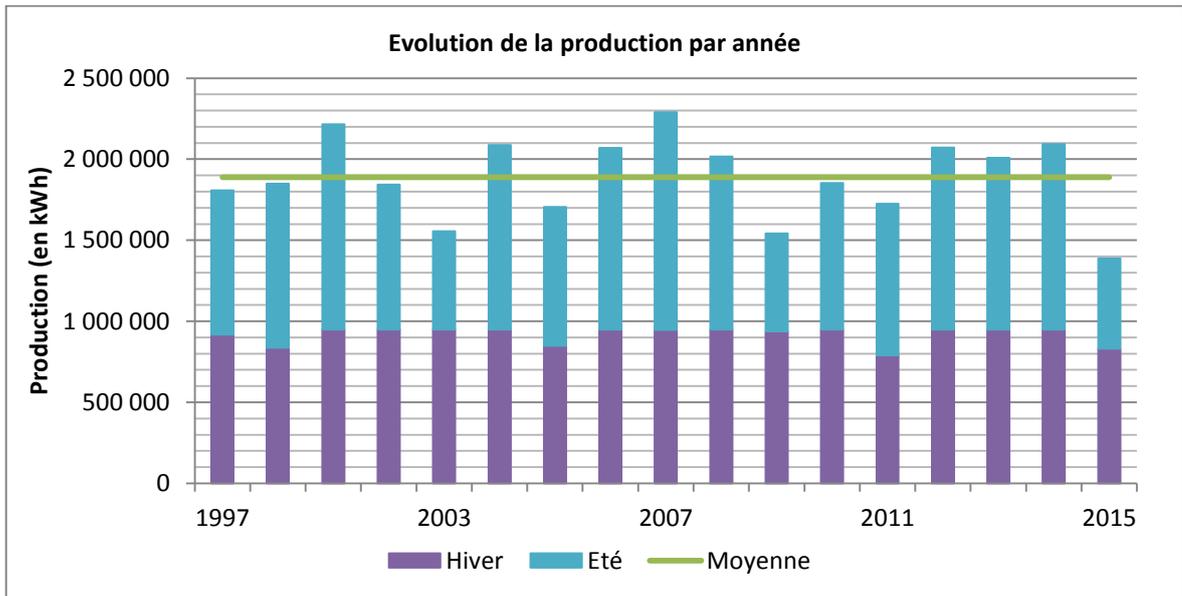
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Janvier	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
Février	176 128	176 128	176 128	176 128	176 128	176 128
Mars	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
Avril	188 708	188 708	188 708	188 708	188 708	186 622
Mai	194 999	194 999	194 999	194 999	138 732	156 880
Juin	122 425	187 151	188 708	178 969	91 466	146 946
Juillet	91 990	15 720	194 999	23 526	127 556	4 665
Août	75 331	153 776	194 999	111 291	41 799	106 935
Septembre	57 200	184 169	188 708	174 005	11 123	184 069
Octobre	125 245	194 999	192 157	194 999	4 665	117 681
Novembre	100 660	188 708	186 858	188 708	176 128	188 048
Décembre	182 418	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
<b>Total</b>	<b>1 705 100</b>	<b>2 069 354</b>	<b>2 291 260</b>	<b>2 016 327</b>	<b>1 541 301</b>	<b>1 852 969</b>

	2011	2012	2013	2014	2015	Moyenne
Janvier	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
Février	176 128	176 128	176 128	176 128	176 128	176 128
Mars	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999	194 999
Avril	165 288	188 708	188 708	185 495	188 708	184 175
Mai	22 807	194 999	194 999	193 845	194 999	178 792
Juin	83 189	188 708	188 708	56 859	121 491	143 881
Juillet	146 291	194 039	134 235	167 054	-	96 226
Août	194 999	91 670	18 362	194 999	-	100 908
Septembre	171 426	71 096	138 386	182 680	47 869	117 785
Octobre	150 406	193 741	194 999	162 819	4 466	149 668
Novembre	50 438	188 708	188 708	188 708	69 193	165 627
Décembre	173 905	194 999	194 999	194 999	194 999	186 357
<b>Total</b>	<b>1 724 873</b>	<b>2 072 793</b>	<b>2 008 229</b>	<b>2 093 583</b>	<b>1 387 850</b>	<b>1 889 545</b>

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

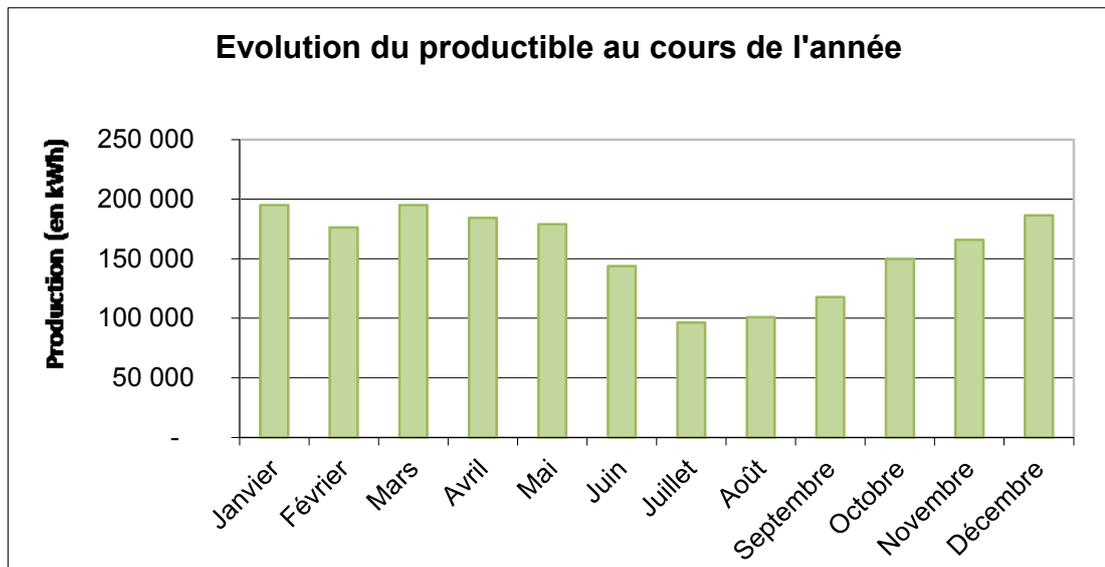
Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT



**Fig. 27. Evolution du productible par année - 2 turbines Kaplan spirale**

La production moyenne sur 17 ans s'élève à **1 890 MWh**, elle se répartit comme suit au cours de l'année :



**Fig. 28. Evolution du productible au cours de l'année - 2 turbines Kaplan spirale**

### 3.4.1.2. EQUIPEMENT AVEC UNE TURBINE

Dans le cas où seule la passe déjà équipée sera remise en service, une turbine serait installée, réduisant la production.

L'hydrologie variant très faiblement, la production est globalement de moitié, **soit 959 MWh en moyenne**.

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques  
RAPPORT

### 3.4.2. Chiffre d'affaire

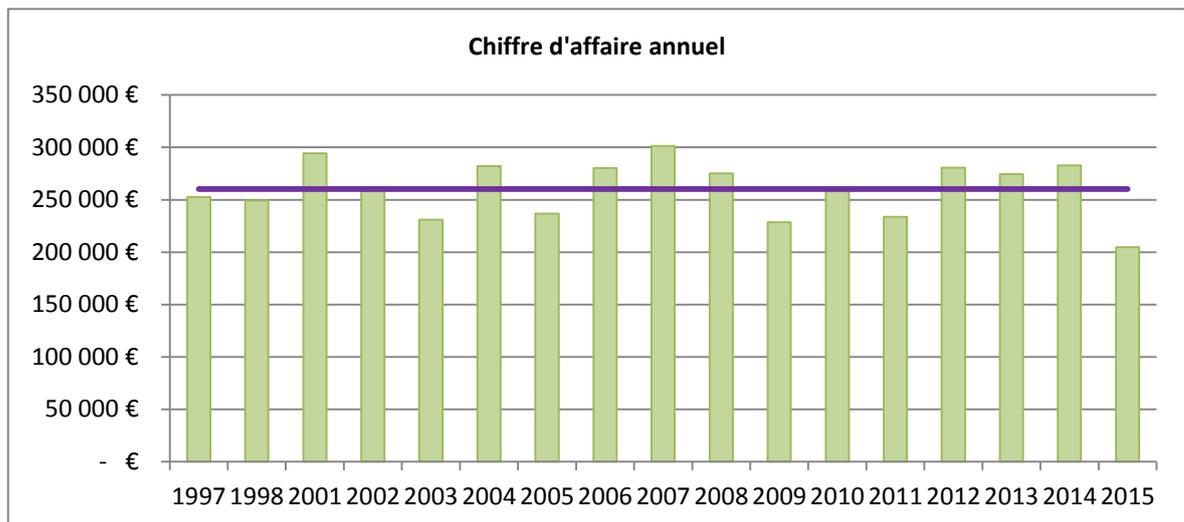
Le chiffre d'affaire, calculé à partir des tarifs à 1 et 2 composante est donné ci-après :

**Tabl. 7 - Chiffre d'affaire moyen prévisionnel - Messein**

Tarif	Chiffre d'affaire moyen – 2 turbines	Chiffre d'affaire moyen – 1 turbine
Une composante	249 420 €	126 623 €
Deux composantes – Eté / Hiver	<b>260 354 €</b>	<b>131 644 €</b>

Un tarif à 2 composantes est plus intéressant pour ce projet.

Le graphique ci-dessous présente le chiffre d'affaire annuel pour l'équipement des 2 passes. La faible variation de l'hydrologie permet d'avoir peu de variation de chiffre d'affaire d'une année sur l'autre.



**Fig. 29. Chiffre d'affaire annuel – 2 turbines**

En moyenne, sur les 17 ans observés, la recette moyenne annuelle avec le tarif à deux composantes s'élève à **260 300 € HT** pour l'équipement des 2 passes, ou à **131 600 € HT** avec une seule turbine.

### 3.5. COUT D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation pris en compte concernent :

- la main d'œuvre pour l'entretien courant des installations estimée à 4h par semaine valorisée à 400 € HT / jour, soit environ 10 000 € H.T. / an,
- Des frais pour le petit matériel de maintenance estimée à 0,7 % du montant de l'investissement sur le lot électromécanique / électricité,
- Des frais de provision pour le renouvellement du gros matériel, estimé à 0,3 % des équipements électromécaniques

# Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

- l'assurance évaluée à 3% de la recette annuelle

**Tabl. 8 - Coût d'exploitation - Messein**

	Projet 2 turbines	Projet 1 turbine
Coût d'exploitation	28 250 €	19 200 €

## 3.6. BUDGET PREVISIONNEL

Le budget de travaux pour la production hydroélectrique est donné ci-dessous pour chacun des 2 scénarios

### 3.6.1. Projet avec 2 turbines

Phase travaux et/ou fournitures	Unité	Qté	PUHT	Budget H.T.
<b>Prise d'eau et conduite</b>				
Réhabilitation des vannes	U	2	3 000,00	6 000,00
Grilles et dégrilleurs	U	2	30 000,00	60 000,00
Chemisage de la conduite	ml	45	500,00	22 500,00
<b>Sous total Prise d'eau et conduite :</b>				<b>88 500,00</b>
<b>Génie civil / Implantation turbine</b>				
Dépose du matériel existant	U	1	7 500,00	7 500,00
Démolition pour l'aspirateur comblé	U	1	55 000,00	55 000,00
<b>Sous total génie civil :</b>				<b>62 500,00</b>
<b>Electromécanique, commande et puissance</b>				
<b>Electromécanique</b>				
Turbine Kaplan 6m - 3 m3/s	U	2	350 000,00	700 000,00
Génératrice asynchrone 160 kW 400V 50 Hz - 500 trs/min	U	2	85 000,00	170 000,00
Groupe de commande hydraulique turbine	U	1	7 500,00	7 500,00
<b>Contrôle-commande</b>				
Armoire de contrôle commande (y/c condensateurs)	U	1	60 000,00	60 000,00
Ensemble de capteurs (contrôle de niveau et turbine)	U	1	5 000,00	5 000,00
Coffret relais de protection réseau	U	1	5 000,00	5 000,00
<b>Circuit puissance</b>				
Tableau basse tension de puissance (condensateurs)	U	1	15 000,00	15 000,00
Equipements électriques de puissance HTA 20 kV	U	1	55 000,00	55 000,00
Transformateur de puissance 630 kVA - 400V / 20 kV	U	1	25 000,00	25 000,00
<b>Sous total électromécanique, commande et puissance :</b>				<b>1 042 500,00</b>
<b>Divers</b>				
Raccordement au réseau électrique	U	1	5 000,00	5 000,00
Aléas	%	5	59 675,00	59 675,00
<b>Sous total HT Divers :</b>				<b>64 675,00</b>

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

Ingénierie				
Missions annexes (demande de raccordement, porté à connaissance)	U	1	20 000,00	20 000,00
Mission de maîtrise d'œuvre	%	8	95 480,00	95 480,00
<b>Sous total Ingénierie :</b>				<b>115 480,00</b>
<b>Budget total H.T. :</b>				<b>1 373 655,00</b>
TVA 20% :				<b>274 731,00</b>
Budget total TTC :				<b>1 648 386,00</b>

### 3.6.2. Projet avec 1 turbine

Phase travaux et/ou fournitures	Unité	Qté	PUHT	Budget H.T.
<b>Prise d'eau et conduite</b>				
Réhabilitation des vannes	U	1	3 000,00	3 000,00
Grilles et dégrilleurs	U	1	30 000,00	30 000,00
Chemisage de la conduite	ml	25	500,00	12 500,00
<b>Sous total Prise d'eau et conduite :</b>				<b>45 500,00</b>
<b>Génie civil / Implantation turbine</b>				
Dépose du matériel existant	U	1	7 500,00	7 500,00
<b>Sous total génie civil :</b>				<b>7 500,00</b>
<b>Electromécanique, commande et puissance</b>				
<i>Electromécanique</i>				
Turbine Kaplan 6m - 3 m3/s	U	1	350 000,00	350 000,00
Génératrice asynchrone 160 kW 400V 50 Hz - 500 trs/min	U	1	85 000,00	85 000,00
Groupe de commande hydraulique turbine	U	1	7 500,00	7 500,00
<i>Contrôle-commande</i>				
Armoire de contrôle commande (y/c condensateurs)	U	1	60 000,00	60 000,00
Ensemble de capteurs (contrôle de niveau et turbine)	U	1	5 000,00	5 000,00
Coffret relais de protection réseau	U	1	5 000,00	5 000,00
<i>Circuit puissance</i>				
Tableau basse tension de puissance (condensateurs)	U	1	15 000,00	15 000,00
<b>Sous total électromécanique, commande et puissance :</b>				<b>527 500,00</b>
<b>Divers</b>				
Raccordement au réseau électrique	U	1	30 000,00	30 000,00
Aléas	%	5	29 025,00	29 025,00
<b>Sous total HT Divers :</b>				<b>59 025,00</b>
<b>Ingénierie</b>				
Missions annexes (demande de raccordement, porté à connaissance)	U	1	20 000,00	20 000,00
Mission de maîtrise d'œuvre	%	8	46 440,00	46 440,00
<b>Sous total Ingénierie :</b>				<b>66 440,00</b>
<b>Budget total H.T. :</b>				<b>705 965,00</b>
TVA 20% :				<b>141 193,00</b>
Budget total TTC :				<b>847 158,00</b>

## Maîtrise d'œuvre pour la modernisation du système d'alimentation global de Messein - Nancy Sud

Etudes d'Avant-projet : AVP 2 / MC6 - aspects hydroélectriques

RAPPORT

### 3.7. RENTABILITE

Le temps de retour est calculé de la manière suivante :  $TR = \frac{\text{Investissements}}{\text{CA} - \text{dépenses d'exploitation}}$

**Tabl. 9 - Temps de retour - Messein**

	Projet 2 turbines	Projet 1 turbine
Temps de retour	6 ans	6,5 ans

## 4. ASPECTS REGLEMENTAIRES

### 4.1. AUTORISATION PREFERATORALE

La construction d'une microcentrale doit normalement faire l'objet d'une autorisation préfectorale. Cependant, les ouvrages étant déjà autorisés, la production hydroélectrique pourrait être un usage accessoire. Dans ce cas, un simple portée à connaissance sera à transmettre à la DDT afin qu'un arrêté complémentaire soit pris, indiquant les caractéristiques des centrales hydroélectriques.

### 4.2. PROCEDURES A METTRE EN ŒUVRE

Le projet nécessite de réaliser les procédures suivantes :

- **ERDF / ENEDIS : Demande de raccordement au réseau électrique**

Pour obtenir un contrat CARD. La procédure d'une durée d'environ 9 mois comprendra la rédaction des documents suivants:

- fiche de collecte (caractéristiques des matériels neufs : alternateur,..)
- convention de raccordement au réseau
- contrat d'accès au réseau distribution en injection (CARD I)
- convention d'exploitation (CEX)

- **EDF OA : demande de contrat d'achat de l'énergie produite**

La procédure comprend deux étapes :

- rattachement au périmètre d'équilibre
- contrat d'achat après mise en service de la centrale

- **France Telecom : Création de ligne téléphonique pour la télé relève des compteurs d'ENEDIS**

- **Permis de construire**

La construction du local de la centrale de l'ouvrage de chasse nécessitera un permis de construire.

L'usine de Messein étant existante, aucune procédure (permis, déclaration) ne devrait être nécessaire.

La demande de certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat ne sera plus nécessaire avec le nouveau dispositif.

oOo