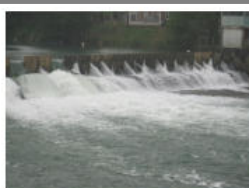
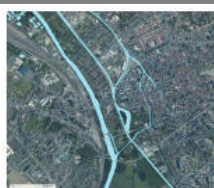




CITÉS EN CHAMPAGNE
Communauté d'Agglomération de Châlons-en-Champagne



ETUDE DE 3 PROJETS DE PCH SUR LA RIVIERE MARNE ET LE CANAL DE CONDE

Rapport de Synthèse

Rapport 10F-032 – RP01

Révision : 00

Septembre 2010



SOMMAIRE

1.. INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE 1
1.2	METHODOLOGIE GENERALE 3
2.. BARRAGE DE CHALONS	4
2.1	PRESENTATION GENERALE DU SITE 4
2.2	DONNEES HYDROLOGIQUES 6
2.2.1	Méthodologie..... 6
2.2.2	debits au droit de l'aménagement..... 6
2.3	CHUTE BRUTE DISPONIBLE 8
2.4	CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES 10
2.4.1	Débit réservé..... 10
2.4.2	Classement du cours d'eau 10
2.4.3	Impacts de l'aménagement..... 10
2.5	SOLUTIONS ETUDIEES 12
2.5.1	Contraintes du site 12
2.5.2	Scénarii étudiés 14
2.6	CALCUL DU PRODUCTIBLE DU SITE..... 15
2.6.1	débit d'équipement 15
2.6.2	Potentiel brut du site 15
2.7	DESCRIPTION DES TRAVAUX 17
2.7.1	Scénario 1..... 17
2.7.2	Scénario 2..... 20
2.8	COUT DE LA RENOVATION..... 24
2.9	ANALYSE FINANCIERE..... 25
2.9.1	Calcul de la Recette 25
2.9.2	Caractéristiques financières du projet..... 26
2.10	CONCLUSION POUR LE SITE DE CHALONS..... 28
3.. BARRAGE DE RECY	29
3.1	PRESENTATION DU SITE..... 29
3.2	DONNEES HYDROLOGIQUES 30
3.2.1	Méthodologie..... 30
3.2.2	debits au droit de l'aménagement..... 30
3.3	CONTRAINTES LIEES A L'EQUIPEMENT DU SITE 32
3.3.1	Volet administratif 32
3.3.2	Volet technique..... 32
3.3.3	Volet environnemental 33
3.3.4	Pratique de la pêche 34
3.3.5	Milieu physique..... 34
3.4	CONCLUSION ET REMISE EN ETAT DU SITE..... 35
4.. CENTRALE DE CONDÉ-SUR-MARNE	36

4.1	PRESENTATION DU SITE.....	36
4.1.1	Rigole de Condé	36
4.1.2	Centrale	37
4.2	HISTORIQUE DU SITE.....	38
4.3	HYDROLOGIE.....	40
4.4	CHUTE BRUTE DISPONIBLE	40
4.5	CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	42
4.5.1	Milieu biologique	42
4.5.2	Le milieu humain	42
4.6	ESTIMATION DES PRODUCTIONS	43
4.6.1	débit d'équipement	43
4.6.2	Potentiel brut du site	43
4.7	TRAVAUX DE REHABILITATION	44
4.7.1	Prise d'eau.....	44
4.7.2	Retenue amont	44
4.7.3	Rigole.....	45
4.7.4	Bâti de la centrale et équipements	46
4.8	COUTS DE RENOVATION	48
4.8.1	Centrale	48
4.8.2	Rigole.....	48
4.9	ANALYSE FINANCIERE.....	50
4.9.1	Prix de vente de l'électricité.....	50
4.9.2	Recette brute et nette	50
4.9.3	Caractéristiques financières du projet.....	50
4.10	SOLUTIONS ALTERNATIVES.....	52
4.10.1	Mise en place de buses sous remblais	52
4.10.2	Utilisation partielle du canal	52
4.11	CONCLUSION SUR SITE DE CONDE	54
5..	ANNEXES.....	55

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Méthodologie d'un pré-diagnostic d'une installation hydroélectrique	3
Figure 2 : Vue aérienne du réseau de cours d'eau de Châlons-en-Champagne	4
Figure 3 : Vue du barrage de Châlons (pertuis et hausses mobiles)	4
Figure 4 : Vue du canal en amont de la vieille écluse en RD du barrage de Châlons	5
Figure 5 : Localisation du site de Châlons	5
Figure 6 : Représentation schématique d'un bassin versant et des stations hydrologiques disponibles	6
Figure 7 : Courbe des débits classés au droit de la prise d'eau	7
Figure 8 : Débits moyens mensuels au droit de la prise d'eau (1989 à 2009)	7
Figure 9 : Photo du barrage	8
Figure 10 : Évolution de la cote de plan d'eau aval en fonction du débit	9
Figure 11 : Courbe des chutes classées du barrage de Châlons	9
Figure 12 : Représentation schématique du site	12
Figure 13 : Illustration de la bathymétrie du canal de l'ancienne écluse	13
Figure 14 : Courbe du productible moyen du projet de Châlons	16
Figure 15 : Zone d'implantation de la VLH	17
Figure 16 : Photos montrant le radier sas de l'écluse	18
Figure 17 : Schématisation des travaux à réaliser sur le radier du canal	18
Figure 18 : Photo montrant la pose de la turbine par grue (site de Millau)	18
Figure 19 : Photo montrant la turbine en position de travail (site de Millau)	18
Figure 20 : Zone d'implantation de la turbine Kaplan	20
Figure 21 : Exemple de configuration bulbe	20
Figure 22 : Exemple de configuration Kaplan en puits incliné	21
Figure 23 : Coupe longitudinale de principe de la centrale	22
Figure 24 : Evolution de la recette de l'aménagement pour le scénario 1	26
Figure 25 : Courbe des flux financiers pour le scénario 1 - Châlons	27
Figure 26 : Courbe des flux financiers pour le scénario 2 - Châlons	27
Figure 27 : Vue aérienne du barrage de Recy	29
Figure 28 : Vue aérienne de la zone d'emprise initiale du projet de plan d'eau de Recy	29
Figure 29 : Représentation schématique d'un bassin versant et des stations hydrologiques disponibles	30
Figure 30 : Courbe des débits classés au droit du barrage de Recy	31
Figure 31 : Plan de la zone d'emprise initiale du projet de plan d'eau de Recy	32
Figure 32 : Profil en long de la Marne projeté après réalisation du plan d'eau de Recy	33

Figure 33 : Représentation schématique du site de Condé-sur-Marne	36
Figure 34 : Photo de la Rigole de Condé	36
Figure 35 : Centrale hydroélectrique de Condé-sur-Marne	37
Figure 36 : Représentation schématique du réseau hydraulique de Châlons	40
Figure 37 : Courbe des chutes classées de l'usine de Condé	41
Figure 38 : Courbe du productible moyen du projet de Condé	44
Figure 39 : Configurations de turbines Kaplan envisageables pour le site de Condé-sur-Marne : a) Kaplan fronto-spirale, b) Kaplan S avec multiplicateur et génératrice, c) Kaplan SAXO	46
Figure 40 : Coupe schématique de la centrale hydroélectrique de Condé-sur-Marne en configuration Kaplan fronto-spirale	47
Figure 41 : Multiplicateur et génératrice	47
Figure 42 : Courbe des flux financiers pour le projet de Condé	51
Figure 43 : Représentation schématique de l'implantation des buses	52

1 INTRODUCTION

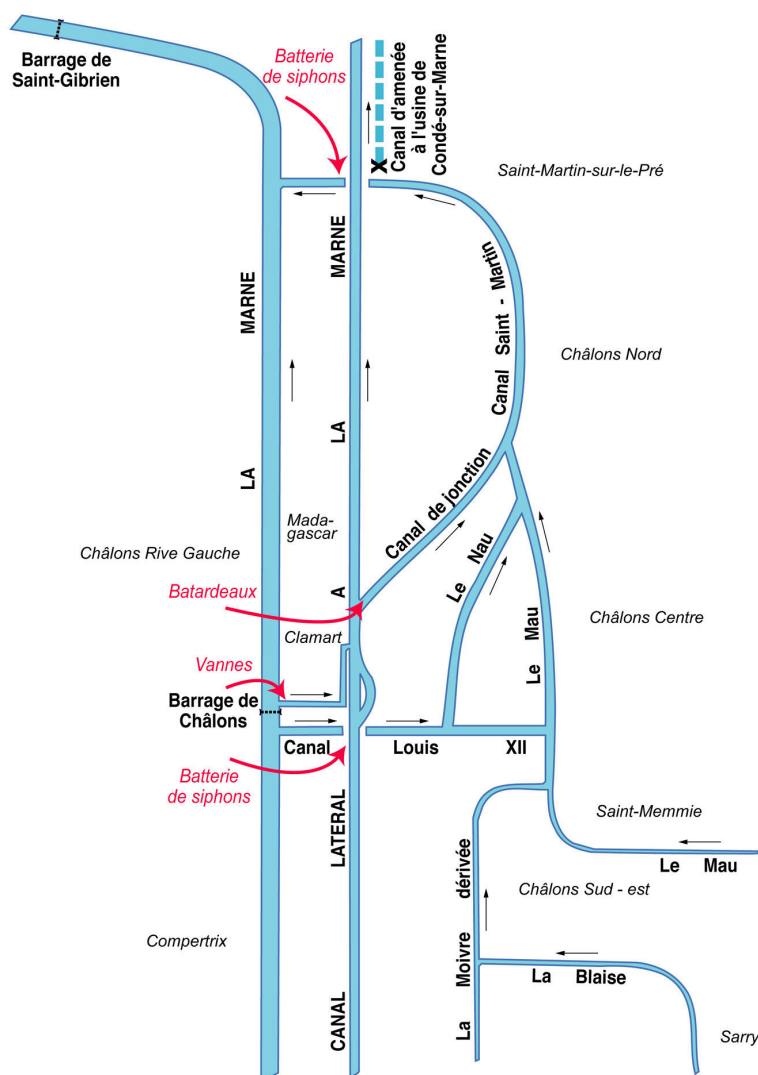
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Bien qu'il n'ait pas encore arrêté sa charte de développement, le Pays de Châlons-en-Champagne a été considéré éligible au volet territorial du contrat de projets Etat-Région. Le Syndicat mixte du SCoT et du Pays de Châlons a ainsi pu proposer plusieurs dossiers lors de l'appel à candidatures lancé par l'Etat de septembre à novembre 2007.

Parmi les dossiers retenus au titre de la convention territoriale signée entre l'Etat et le Syndicat mixte en mars dernier pour la période 2008-2011, figure une étude visant à valoriser trois installations hydrauliques majeures.

L'objectif de cette étude est d'examiner la faisabilité d'une production d'électricité d'origine hydraulique sur les trois sites :

- Barrage de Châlons-en-Champagne
- Barrage de Recy (St-Gibrien)
- Ancienne usine hydroélectrique de Condé-sur-Marne



Le comité de suivi de l'étude réunit :

- le Pays de Châlons, en tant que commanditaire de l'étude, représenté par son Président M. Jacques JESSON;
- la Communauté d'agglomération en tant que maître d'ouvrage, représentée par Mme. Raphaëlle PALMIERI, Chef du service Environnement et Développement Durable ;
- la Communauté de Communes de Condé-sur-Marne, représentée par sa Présidente Mme. CHOUBAT ;
- la commune de Condé-sur-Marne, représentée par M. le Maire, Jean Jacques LORE;
- la commune de Recy, représentée par M. le Maire, Michel VALTER;
- l'agence d'urbanisme et de développement de Châlons, représentée par sa Directrice Sophie PURON et M. Jean-Marc CHONE;
- Voies Navigables de France, par le Chef de la subdivision de Châlons-en-Champagne, M. Antoine HERMAN ;

Une visite des 5 sites a été effectuée les 25 et 26 janvier 2009 en présence de :

- Madame PALMIERI : Cités en Champagne - service Environnement & Développement durable
- Madame JANIN-REINER : ISL Ingénierie
- Monsieur BENBERIM : ISL Ingénierie
- Monsieur JEAN-PHILIPPE VANDELLE : SIALIS

Le présent rapport présente les études de faisabilité d'équipement des 3 sites.

1.2 METHODOLOGIE GENERALE

Ce chapitre détaille la méthodologie suivie pour l'ensemble des étapes constituant une étude préliminaire de faisabilité. De façon générale, la méthodologie respecte l'algorithme ci-dessous.

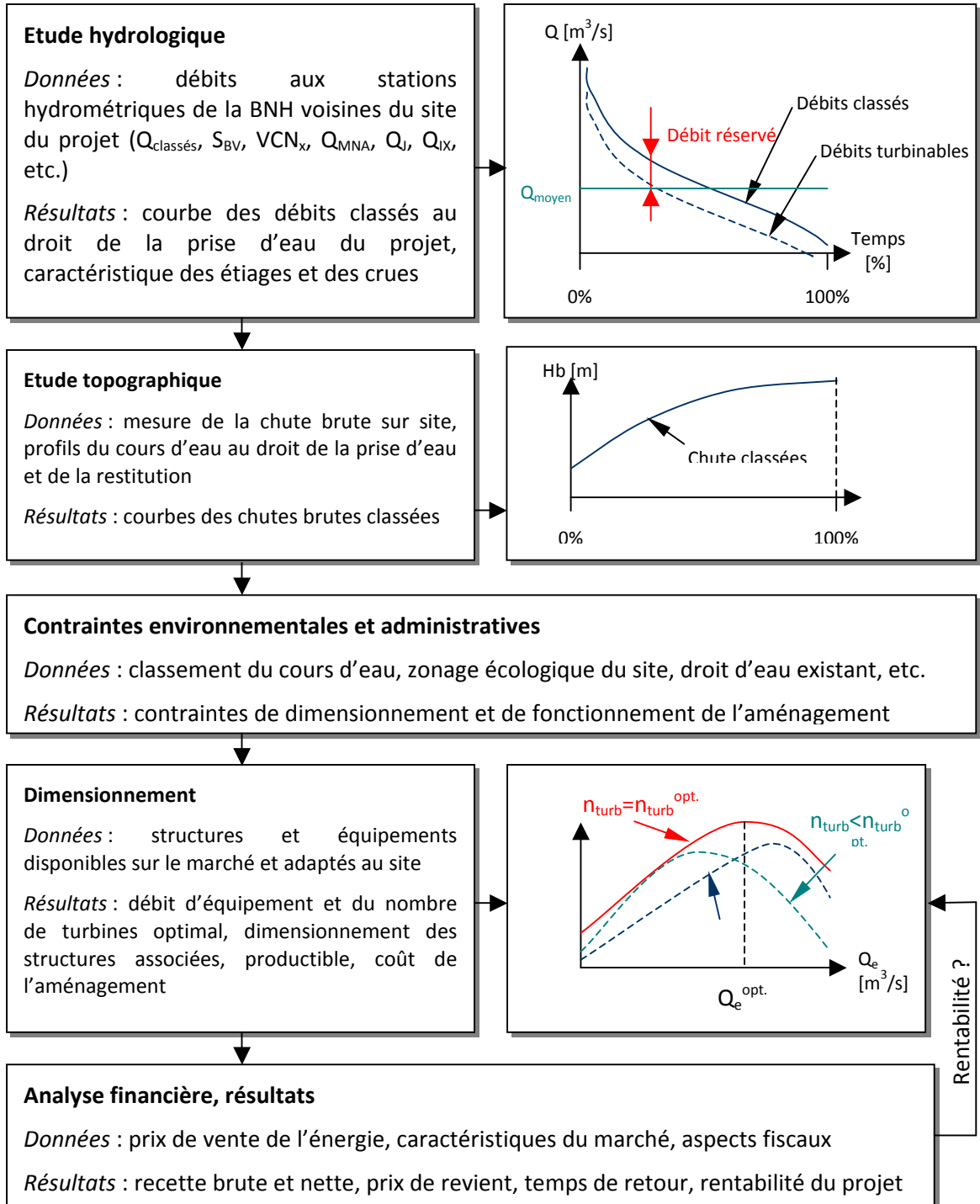


Figure 1 : Méthodologie d'un pré-diagnostic d'une installation hydroélectrique

2 BARRAGE DE CHALONS

2.1 PRESENTATION GENERALE DU SITE

Le barrage de Châlons a été construit en 1864/1865 en remplacement d'un barrage plus ancien (1802).

Cet ouvrage est utilisé pour l'alimentation du réseau de cours d'eau de la ville de Châlons, l'alimentation du canal St Martin et servait également à alimenter la rigole de Condé.



Figure 2 : Vue aérienne du réseau de cours d'eau de Châlons-en-Champagne

Il se compose d'un déversoir à hausses d'une largeur de 46,5 m équipé de 31 hausses mécaniques (seuil à 78,78 NGF et crête à 80,73 NGF) et d'un pertuis à vanne d'une largeur de 12,5 m (seuil à 77,20 NGF).



Figure 3 : Vue du barrage de Châlons (pertuis et hausses mobiles)

Le site est également équipé d'une ancienne écluse fermée par un batardeau et une vanne.

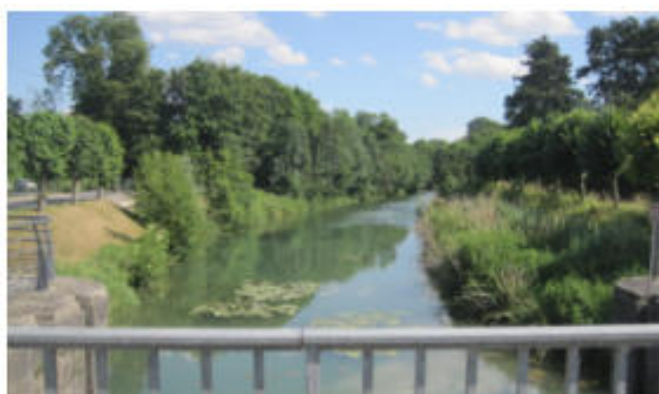


Figure 4 : Vue du canal en amont de la vieille écluse en RD du barrage de Châlons



Figure 5 : Localisation du site de Châlons

2.2 DONNEES HYDROLOGIQUES

2.2.1 METHODOLOGIE

La DREAL, et dans certains cas EDF, gère les données recueillies auprès de l'ensemble des stations hydrologiques réparties sur le territoire. Ces données, disponibles auprès de la Banque Nationale Hydrologique, permettent de connaître les caractéristiques du cours d'eau au droit de la station : crues, étiages, débits moyens mensuels, courbe des débits classés, etc.

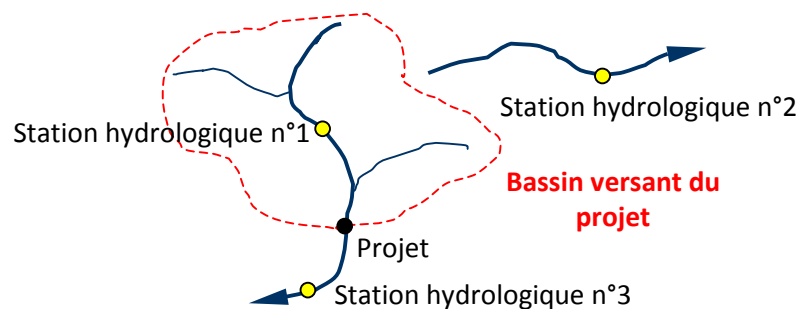


Figure 6 : Représentation schématique d'un bassin versant et des stations hydrologiques disponibles

S'il existe une station hydrologique proche sur le même cours d'eau, il est possible de déterminer directement les caractéristiques hydrologiques en étiage au droit de la prise d'eau par homothétie de surface de bassin versant (S_{BV}) :

$$Q(t)_2 = \frac{S_2^{BV}}{S_1^{BV}} Q(t)_1$$

2.2.2 DEBITS AU DROIT DE L'AMENAGEMENT

Il existe plusieurs stations hydrométriques mesurant les débits de la Marne. La station la plus proche des ouvrages se trouve sur la commune de Châlons en aval immédiat du barrage (station H5201010).

Cette station est en service depuis 1957, mais les séries disponibles doivent être interprétées en tenant compte de :

- la mise en service du barrage-réservoir Marne, qui influe fortement depuis 1974 le régime des débits,
- l'abandon de la rigole de Condé depuis 1989, qui dérivait auparavant une partie du débit.

Les mesures de débits qui seront donc utilisées pour modéliser les régimes d'écoulement de la Marne à Châlons en champagne sont celles effectuées après 1989.

Le bassin versant de la Marne au droit de la station est égal à 6 280 km².

Le tableau ci-dessous donne les principales informations concernant les débits de la Marne utilisés dans la suite de l'étude.

Débit moyen interannuel	72,2 m³/s
Débit médian	49,0 m ³ /s
Débit moyen en été	48,4 m ³ /s
Débit moyen en hiver	106,1 m ³ /s

Tableau 1 : Principales caractéristiques du cours d'eau au droit du barrage de Châlons (depuis février 1989)

La courbe des débits classés de la Marne au droit du site est présentée sur la figure ci-dessous. Cette courbe est construite à partir des débits mesurés à la station sur la période considérée.

Elle permet une lecture facile de la fréquence d'apparition (disponibilité) de chaque valeur de débit dans le temps.

Par exemple, on notera que 80% du temps (soit environ 290 jours par an en moyenne) le débit disponible sur la Marne au droit du site est supérieur à 25 m³/s.

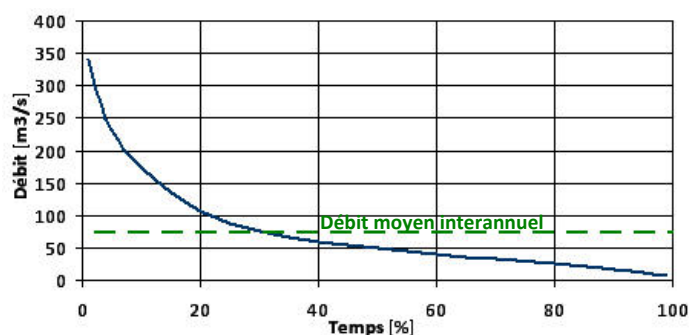


Figure 7 : Courbe des débits classés au droit de la prise d'eau

La figure ci-après présente les débits moyens mensuels de la Marne au droit du site.

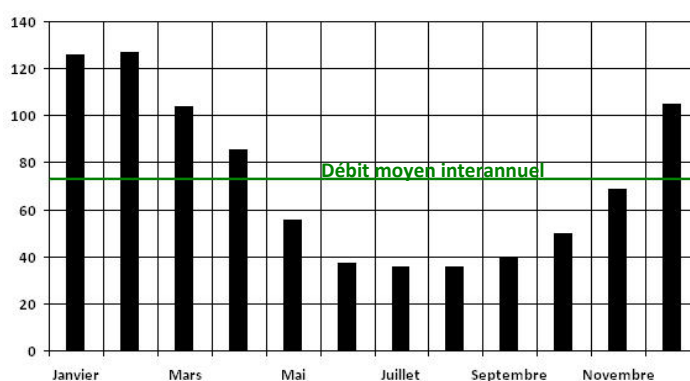


Figure 8 : Débits moyens mensuels au droit de la prise d'eau (1989 à 2009)

2.3 CHUTE BRUTE DISPONIBLE

Le barrage décrit dans le paragraphe 2.1 présente les caractéristiques suivantes :

- longueur droite en crête du déversoir à hausses : environ 46,5 m
- largeur du pertuis à vannes : 12,5 m
- cote de la crête du barrage : 80,73 NGF



Figure 9 : Photo du barrage

Lors de crues, le niveau des plans d'eau montant généralement plus vite à l'aval qu'à l'amont, la chute brute exploitable peut diminuer pour certains aménagements de basse chute et cette hauteur de chute peut totalement disparaître en cas de forte crue. Au contraire, en période d'étiage elle devient maximum alors que les débits turbinables sont minimums.

L'évolution de la chute est obtenue par l'étude du comportement des plans d'eau amont et aval.

Niveau amont :

La cote normale d'exploitation du barrage est de 80,50 NGF (correspondant à une cote échelle amont de 3,20 m).

L'étude de la capacité du barrage réalisée pour VNF en 2008 –dans le cadre de la demande d'autorisation provisoire pour le batardage du pertuis- montre que la cote d'exploitation est tenue grâce aux hausses jusqu'à un débit $250 \text{ m}^3/\text{s}$, soit environ 95% du temps.

Niveau aval :

L'évolution du niveau aval a pu être décrite à partir de la courbe de tarage de la station hydrométrique DIREN se situant entre le barrage et le pont de la Marne à l'aval.

La courbe de tarage donne une relation hauteur/débit pour des cotes échelle comprises entre 0 et 3,75 m, soit des débits compris entre 15 et $433 \text{ m}^3/\text{s}$.

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau aval en fonction du débit.

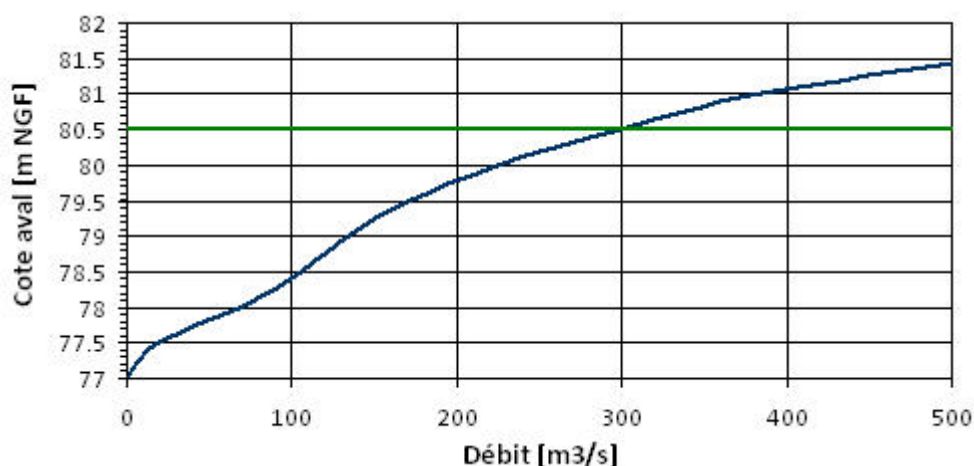


Figure 10 : Évolution de la cote de plan d'eau aval en fonction du débit

La chute brute maximum prise en compte pour la suite est égale à **3,1 m** correspondant à la différence entre la cote d'exploitation et le niveau des eaux en aval en période d'étiage (débit de 25 m³/s disponible 95% du temps).

La courbe des chutes est obtenue par superposition de la courbe précédente et la courbe des débits classés.

La figure et le tableau ci-dessous montrent les hypothèses prises en compte dans la suite de l'étude relatives aux variations de la chute en fonction du temps.

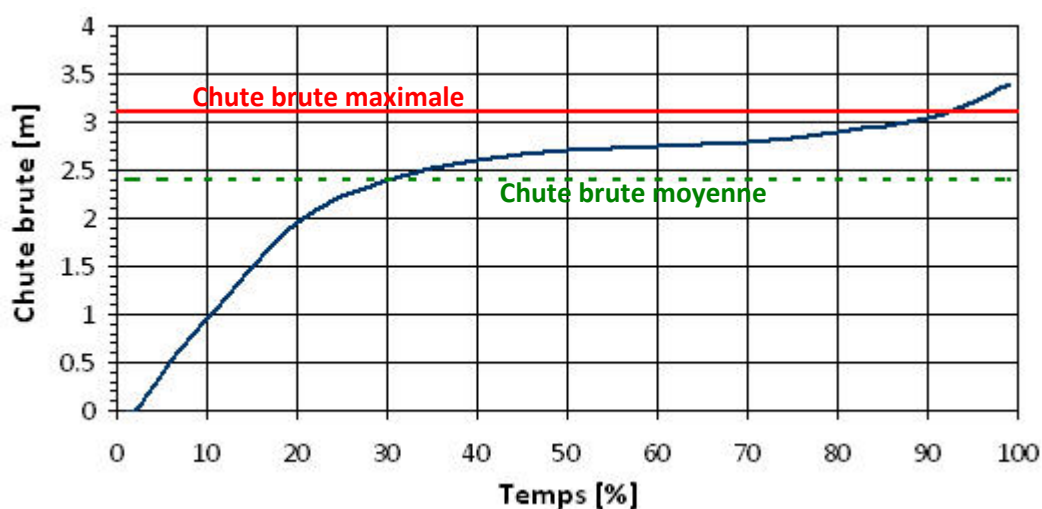


Figure 11 : Courbe des chutes classées du barrage de Châlons

Chute brute maximum	3,1 m
Chute brute moyenne	2,4 m

Tableau 2 :Caractéristiques de la chute

2.4 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Ce chapitre résume les principales contraintes environnementales qui doivent être prises en compte pour le dimensionnement de l'aménagement.

2.4.1 DEBIT RESERVE

La loi n°84-512 du 29 juin 1984 relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources agricoles a introduit la notion de débit réservé. Au chapitre II, consacré à la préservation des milieux aquatiques et à la protection du patrimoine piscicole, l'article 410 indique que « tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces qui peuplent les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite. Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. »

En première analyse le débit réservé est considéré comme étant égal à 10 % du module interannuel (au droit de la prise d'eau), soit environ 7,2 m³/s.

2.4.2 CLASSEMENT DU COURS D'EAU

La Marne dans le département de la Marne est **classée¹** au titre de l'article L432-6 du code de l'environnement, **il sera prévu la réalisation d'un ouvrage de franchissement.**

La Marne dans le département de la Marne **n'est pas réservée²** au titre de l'article 2 de la loi du 16 octobre 1919 (loi sur l'eau), **la construction d'une centrale pourra être envisagée.**

2.4.3 IMPACTS DE L'AMENAGEMENT

L'analyse des impacts de l'aménagement a pour but de lister les conséquences du projet sur l'environnement. Il s'agit d'évaluer sommairement ces impacts pour dresser une liste des mesures compensatoires à envisager.

D'une manière générale, il est souligné que le fonctionnement de l'aménagement est prévu **au fil de l'eau**. Ceci signifie que le débit des eaux turbinées dépendra directement des apports hydrologiques et qu'**aucun marnage ne sera prévu**, permettant de conserver une cote minimale du plan d'eau et de ne pas perturber le bief amont.

- Impact sonore des éléments tournants, et notamment des multiplicateurs et des génératrices :

Le site se trouve à proximité d'habitations et d'un espace de loisirs.

Des mesures devront toutefois être effectuées afin d'évaluer la situation acoustique du site avant l'implantation des turbines. Elles permettront de déterminer les niveaux

1 Code de l'environnement (partie législative)

Article L432-6 : Dans les cours d'eau ou parties de cours d'eau et canaux dont la liste est fixée par décret, après avis des conseils généraux rendus dans un délai de six mois, tout ouvrage doit comporter des dispositifs assurant la circulation des poissons migrateurs. L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien de ces dispositifs.

Les ouvrages existants doivent être mis en conformité, sans indemnité, avec les dispositions du présent article dans un délai de cinq ans à compter de la publication d'une liste d'espèces migratrices par bassin ou sous-bassin fixée par le ministre chargé de la pêche en eau douce et, le cas échéant, par le ministre chargé de la mer

Article L432-7 : Le classement des cours d'eau, parties de cours d'eau et canaux intervenu au titre du régime des échelles à poissons antérieurement au 1er janvier 1986 vaut classement au titre du premier alinéa de l'article L. 432-6.

Article L432-8 : Le fait de ne pas respecter les dispositions des articles L. 432-5 et L. 432-6 est puni de 12 000 euros d'amende. ...

2 loi sur l'eau

...

Sur certains cours d'eau ou sections de cours d'eau, et dont la liste sera fixée par décret en Conseil d'Etat, aucune autorisation ou concession ne sera donnée pour des entreprises hydrauliques nouvelles. Pour les entreprises existantes, régulièrement installées à la date de la promulgation de la loi n° 80-531 du 15 juillet 1980, ou visées à l'article 27 de ladite loi, une concession ou une autorisation pourra être accordée sous réserve que la hauteur du barrage ne soit pas modifiée.

sonores à respecter lors du fonctionnement de la microcentrale en accord avec l'arrêté du 23 janvier 1997³.

- Impact de l'aménagement sur la faune piscicole : migration vers l'amont et vers l'aval, mortalité au passage des turbines, prise en compte des différentes espèces, etc :
L'impact sur la population piscicole pourra être étudié dans le cadre de l'étude d'impact.
Le cours d'eau étant classé, un(ou des) ouvrage(s) de franchissement est(sont) nécessaire(s).

- Impact sur le régime d'écoulement de la Marne
Afin de minimiser l'impact sur l'écoulement, surtout en période d'étiage, un débit réservé devra toujours être restitué en aval immédiat du seuil (cf. §2.4.1.)
Les débits d'équipement possibles pour le site étudiés dans la suite sont inférieurs au module de la Marne au droit du barrage.

- Intégration paysagère des structures de l'aménagement :
Les solutions présentées plus bas sont développées de façon à ne pas modifier de façon significative le paysage. Elle permettront de valoriser un potentiel énergétique lié à des structures construites initialement pour la valorisation des débits du cours d'eau.

- Impact de la valorisation de la chute pour la participation à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (ce point est développé ci-après) :
La production d'électricité de source hydraulique permet une réduction importante des émissions de gaz à effet de serre en comparaison d'une production à base de combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon, etc.). Le gain d'émission de gaz à effet de serre pour le site de Chalons est donné dans le Tableau 3 Page 16.

Tous ces éléments seront repris et développés dans l'étude ou la notice d'impact du projet.

³ Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (JO du 27 mars 1997)

2.5 SOLUTIONS ETUDIEES

La figure ci-dessous présente une vue en plan du site actuel.

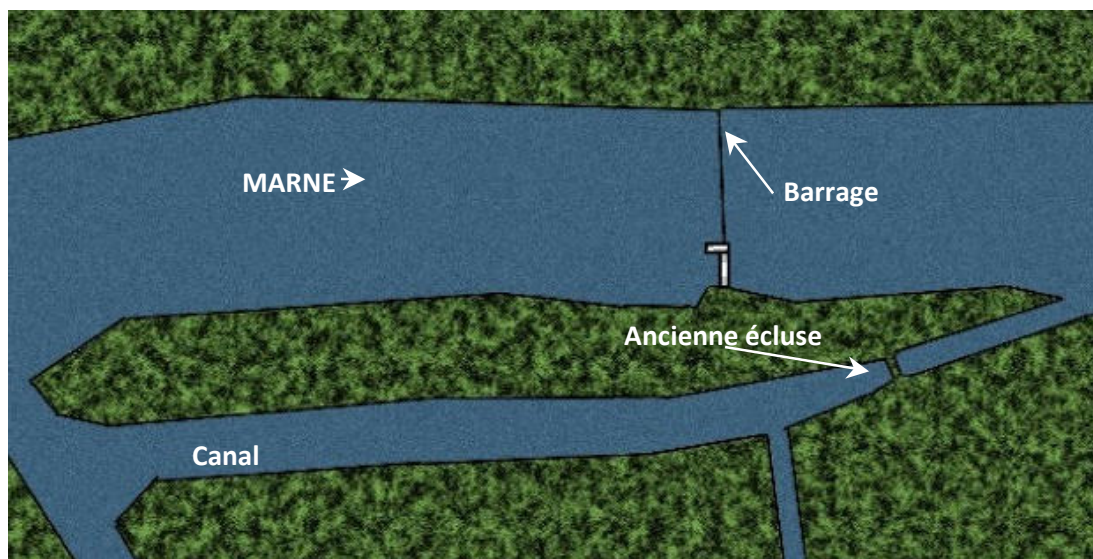


Figure 12 : Représentation schématique du site

2.5.1 CONTRAINTES DU SITE

2.5.1.1 Chute disponible

La chute brute maximum créée par le barrage est de 3,1 m.

► **Utilisation de turbines Kaplan ou de VLH (turbine Very Low Head) adaptées aux faibles chutes**

2.5.1.2 Configuration du site

La configuration actuelle du site rend difficile la construction d'une centrale en rive gauche en raison d'absence d'espace pour l'implantation d'un groupe.

Bien qu'elle soit adaptée au site, la mise en place d'une turbine VLH dans le corps du barrage (en rive gauche) réduirait la capacité d'évacuation du barrage lors des crues.

► **Absence d'espace en rive gauche + Impossibilité de mettre en place des groupes VLH dans le corps du barrage**

L'ancienne écluse n'ayant plus d'utilité, il est possible d'envisager la construction d'une centrale sur le canal d'alimentation.

2.5.1.3 Débit d'équipement

Le débit d'équipement est le débit maximum pouvant être exploité par les turbines.

Pour les aménagements de faible chute, le débit d'équipement généralement choisi est celui disponible environ 40% du temps. Dans le cas du barrage de Châlons, ce débit correspond à 60 m³/s.

Compte-tenu de la géométrie du canal de l'ancienne écluse, le débit d'équipement choisi sera fixé par la capacité hydraulique des ouvrages se trouvant à l'amont de la zone identifiée pour l'implantation de la centrale (prise d'eau, débit du canal du jard, section d'entrée en amont du canal).

► **Choix d'un débit d'équipement en cohérence avec les ouvrages existants**

La figure ci-dessous présente une bathymétrie du canal de l'ancienne écluse établie à partir des profils fournis par VNF.

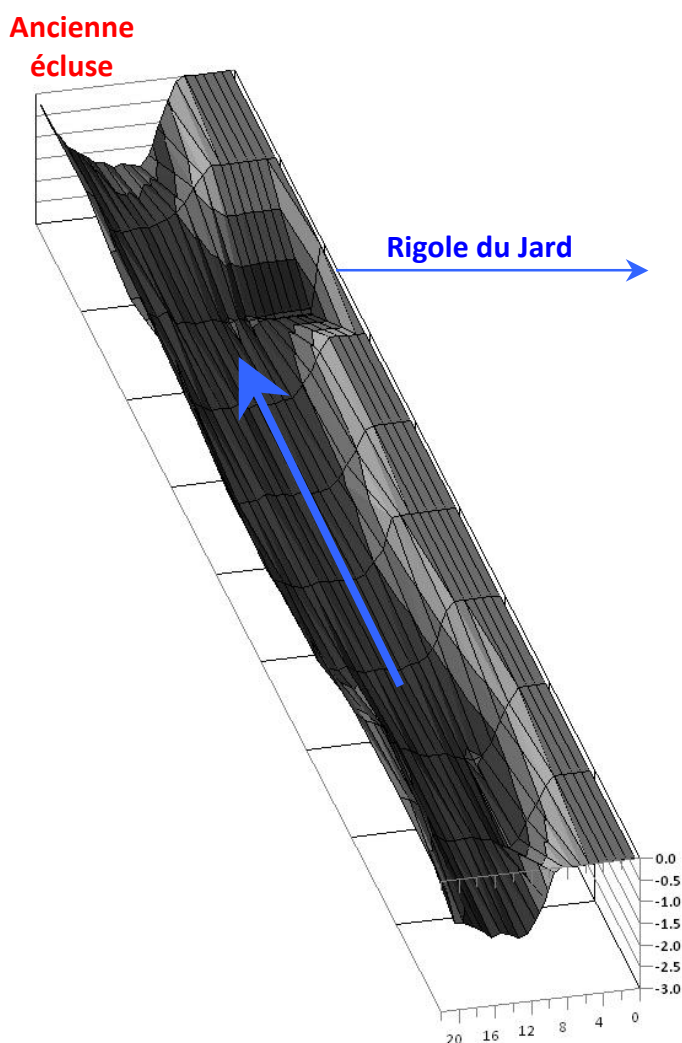


Figure 13 : Illustration de la bathymétrie du canal de l'ancienne écluse

Cette bathymétrie donne les caractéristiques de canal suivantes :

- Section d'entrée : 10 m^2
- Section minimale : 13 m^2
- Section moyenne : $18,5 \text{ m}^2$
- Profondeur maximale : 2 m (en amont de l'écluse)

Les données ci-dessus montrent que la bathymétrie actuelle du canal ne permet pas d'envisager un débit supérieur à $11 \text{ m}^3/\text{s}$ (limitation de la vitesse d'écoulement dans le canal à 1 m/s pour minimiser les pertes de charge) avec prise en compte des débits prélevés pour le canal du jard.

► **Travaux de recalibrage à prévoir sur le canal afin d'augmenter sa capacité hydraulique.**

► **Deux valeurs de débit peuvent être envisagées à ce stade ; un premier débit de $19 \text{ m}^3/\text{s}$ qui pourra être exploitable en uniformisant les sections de canal et un deuxième débit de $35 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenu par approfondissement du canal sur toute sa longueur.**

2.5.2 SCENARII ETUDIES

L'examen des contraintes listées plus haut oriente le choix d'équipement vers deux scénarii :

► **Scénario 1 (travaux minimums, intégration maximale)** : pour cette solution, le choix s'est porté sur la **turbine VLH** qui présente l'intérêt d'une meilleure intégration paysagère et une meilleure Ichtyophilie. Cette turbine aura un débit d'équipement avoisinant $19 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenu par dragage du canal amont.

► **Scénario 2 (optimisation du potentiel du site)** : Cette solution consiste à mettre en place une turbine Kaplan de $35 \text{ m}^3/\text{s}$ en réalisant des travaux d'approfondissement du canal amont.

2.6 CALCUL DU PRODUCTIBLE DU SITE

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

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

2.6.1 DEBIT D'EQUIPEMENT

Comme discuté dans le paragraphe 2.5.1.3, les débits d'équipement pris en compte dans la suite de l'étude sont :

Scénario	Débit d'équipement [m ³ /s]
1	19
2	35

2.6.2 POTENTIEL BRUT DU SITE

2.6.2.1 Notion de puissance maximum brute

Lorsque l'on parle de puissance administrative, par exemple dans les droits d'eau autorisant l'exploitation d'un site, il s'agit de la puissance maximum brute (PMB), définie comme suit :

$$PMB = \rho Q_e g H_b \text{ [kW]}$$

La PMB dépend uniquement des « données naturelles » du site, à savoir la chute brute exploitable H_b et le débit total turbiné Q_e , appelé aussi débit d'équipement. Pour le site de Châlons, **la Puissance Maximum Brute vaut, pour chacun des scénarii :**

Scénario	H_b	PMB [kW]
1	3,1	580
2	3,1	1 060

Cette puissance ne prend donc pas en compte les différents phénomènes physiques pouvant engendrer une réduction de la puissance exploitable, tels que :

- les contraintes environnementales (limitation du débit d'équipement et du fonctionnement de la centrale, débit réservé, etc.).
- les limitations, contraintes et pertes dépendantes des structures et des équipements (pertes de charge, adaptation des machines, rendements des équipements, etc.).

Ces contraintes doivent être prises en compte pour estimer le potentiel réel (voir chapitre suivant).

2.6.2.2 Productible annuel moyen

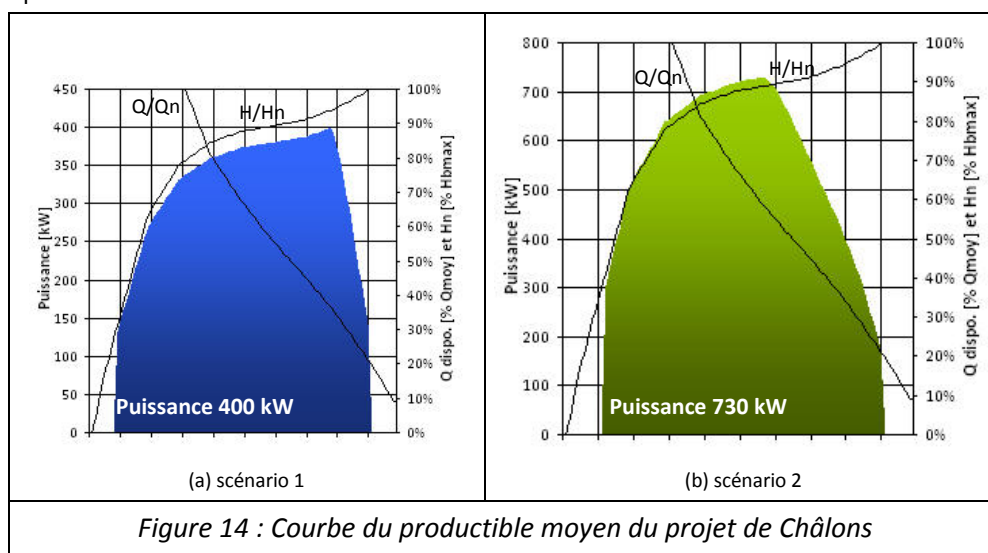
Le productible annuel moyen est déterminé en tenant compte de l'ensemble des paramètres physiques du site (hydrologie, chute brute exploitable et effacement de la chute), des contraintes environnementales (débit réservé, restriction éventuelle de la

production durant certaines périodes de l'année) et des caractéristiques de dimensionnement des structures et des équipements de l'aménagement (pertes de charge, adaptation des machines aux variations de débit et de chute, colline de rendement des turbines, etc.).

	Scénario 1	Scénario 2
Chute brute maximum	3,1 m	
Débit d'équipement	19 m ³ /s	35 m ³ /s
Puissance maximum brute (PMB)	580 kW	1 062 kW
Puissance électrique maxi.	400 kW	730 kW
Productible annuel	2,1 GWh/an	3,7 GWh/an
Production estivale - hivernale	59% - 41%	57% - 43%
Coefficient de charge	5 580 h/an	5 090 h/an
Gain d'émission de G.E.S. ⁴	100 tonnes	174 tonnes

Tableau 3 : Puissance et productible du projet de Châlons

Le résultat est présenté sous la forme d'une courbe du productible donnant la puissance produite dans le temps.



⁴ D'après l'indice EDF (source : <http://www.edf.com/i/accueil-fr/EDF-service-public/blocs/popup-co2.html>). Cet indice vaut en moyenne pour la période janvier 2007 – décembre 2007 47,08 gramme équivalent CO₂ par kilowattheure.

2.7 DESCRIPTION DES TRAVAUX

2.7.1 SCENARIO 1

Le scénario 1 consiste en la mise en place d'une turbine VLH dans la partie aval de l'ancienne écluse.

La figure ci-dessous illustre de la zone d'implantation choisie.



Figure 15 : Zone d'implantation de la VLH

2.7.1.1 Batardeaux

La zone d'implantation de la turbine devra être à sec durant toute la période de travaux.

Un batardeau sera implanté en amont de la vieille écluse et un second à l'extrémité aval du canal.

2.7.1.2 Canal amont

Comme évoqué dans le paragraphe 2.5.1.3, la réalisation d'un recalibrage sera nécessaire pour augmenter la capacité hydraulique du canal d'amenée.

Le volume d'excavations est estimé à 600 m³ pour le scénario 1.

2.7.1.3 Radier turbine

La turbine VLH 4000 nécessite une hauteur d'eau sur radier d'environ 3 m, la hauteur disponible au point d'implantation choisi est inférieure à 3 m.

Des travaux d'approfondissement du canal devront être réalisés sur une longueur approximative de 40 m.

La figure ci-dessous illustre à titre indicatif ces travaux, la ligne rouge représente le tracé du radier nécessaire pour l'implantation d'une VLH 4000.



Figure 16 : Photos montrant le radier sas de l'écluse

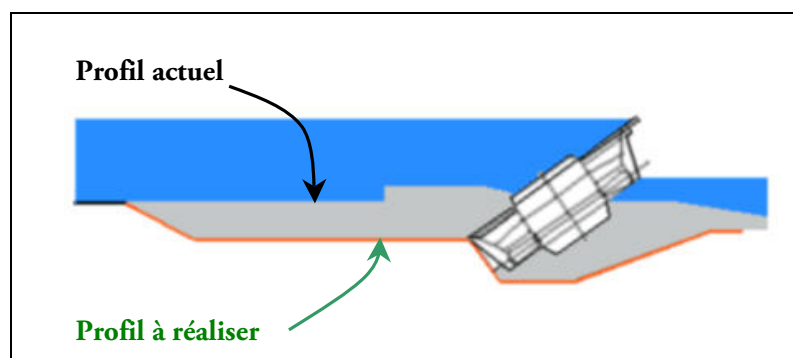


Figure 17 : Schématisation des travaux à réaliser sur le radier du canal

Le passage entre murs du groupe VLH 4000 est d'environ 5,5 m, deux nouveaux bajoyers seront construits.

L'ancienne écluse sera démolie.

2.7.1.4 Mise en place d'un groupe VLH

L'implantation d'une turbine VLH est illustrée dans la figure ci-dessous.



Figure 18 : Photo montrant la pose de la turbine par grue (site de Millau)⁵



Figure 19 : Photo montrant la turbine en position de travail (site de Millau)

La VLH incorpore les organes suivants⁶ :

- une turbine Kaplan standardisée à 8 pales réglables en fonction du niveau et du débit

⁵ Source : VLH Turbines <http://www.vlh-turbine.com>

⁶ Source : VLH Turbines <http://www.vlh-turbine.com>

- une structure autoportante permettant un assemblage complet en usine et un montage ou une dépose très rapide,
- un alternateur lent à attaque directe aimant permanent et vitesse variable,
- un dispositif d'arrêt et de coupure du débit par fermeture des pales sur elles-mêmes sans énergie du réseau,
- un distributeur faisant office de grille de protection,
- un dégrilleur rotatif embarqué,
- un variateur de vitesse électronique,
- des équipements de commande et contrôle électronique intégrés assurant la gestion du groupe générateur et des équipements électroniques de puissance,
- un dispositif d'effacement permettant la mise hors d'eau du groupe pour maintenance ou en cas de crue.

2.7.1.5 Local électrique

Pour une turbine VLH, un bâtiment est nécessaire pour abriter les armoires électriques, les systèmes contrôle commande, les dispositifs de protection et le transformateur et les cellules MT.

L'espace nécessaire est considérablement réduit par rapport à une solution Kaplan classique. Il devra être construit un bâtiment d'une surface approximative de 10 m² en rive gauche du canal.

2.7.2 SCENARIO 2

Le scénario 2 consiste en la mise en place d'une turbine Kaplan dans la partie du canal en amont de l'ancienne écluse.

La figure ci-dessous illustre la zone d'implantation choisie.



Figure 20 : Zone d'implantation de la turbine Kaplan

2.7.2.1 Batardeaux

La zone d'implantation de la turbine devra être à sec durant toute la période de travaux.

Un batardeau sera implanté environ 30 m en amont de la vieille écluse et un second à l'extrémité aval du canal.

2.7.2.2 Canal amont

Comme évoqué dans le paragraphe 2.5.1.3, la réalisation d'un dragage sera nécessaire pour augmenter la capacité hydraulique du canal d'aménée.

Le volume d'excavations est estimé à 4500 m³ pour le scénario 2.

2.7.2.3 Partie aval du canal (en aval de l'écluse)

De la même manière que pour le scénario 1, le canal aval devra être approfondi selon un profil qui sera défini au stade d'avant projet.

2.7.2.4 Bâtiment usine

Il existe de nombreuses configurations possibles pour une turbine Kaplan. Celles paraissant les mieux adaptées au site en raison de faible profondeur disponible en aval sont :

Turbine bulbe horizontale ou inclinée :

Cette configuration axiale offre l'avantage d'avoir un impact visuel minimum puisque l'ensemble des équipements électro-mécaniques (multiplicateur, générateur, groupe hydraulique de manœuvre des pales de la turbine) sont embarqués dans une structure métallique étanche et immergée dans le courant. Cette solution nécessite souvent d'avoir recours à des technologies particulières pour réduire autant que faire se peut les dimensions du corps immergé.

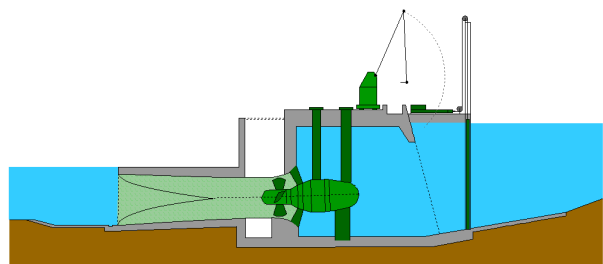


Figure 21 : Exemple de configuration bulbe

Turbine Kaplan en puits incliné :

Cette configuration axiale ressemble en de nombreux points à une configuration bulbe, notamment au niveau de l'encombrement. Néanmoins, les équipements ne sont pas enfermés dans un corps immergé, mais placés au fond d'un puits autour duquel se fait l'écoulement.

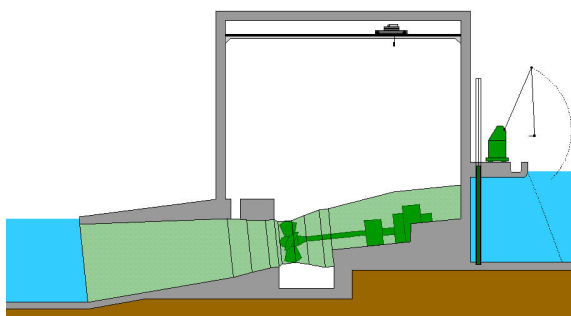


Figure 22 : Exemple de configuration Kaplan en puits incliné

Le tableau ci-dessous regroupe les avantages et inconvénients des différents types de turbines présentées ci-dessus.

	Avantages	Inconvénients
Bulbe	Faible excavation Souplesse dans la définition du tracé Bonne résistance aux sollicitations intérieures et extérieures Cadence élevée de mise en œuvre Facilité dans le remplacement de pièces sur le convertisseur de puissance Matériels complètement testés en atelier	Solution récente (6 à 8 ans) Peu de retour d'expérience au niveau de la durée de vie et des difficultés d'exploitation Matériels un peu plus chers Problème d'accès dans le bulbe Possibilité d'échauffement dans le bulbe Beaucoup de dissipation thermique au niveau du convertisseur de puissance
Puits	Faible excavation Bonne résistance aux sollicitations intérieures et extérieures Large gamme de produit disponibles Equipements moins sollicités en température Alternateur très robuste	Nécessite un encombrement au sol légèrement plus important Quantité de gros matériels à mettre en place Multiplicateur : élément fragile nécessitant des arrêts sur indisponibilité longs (plusieurs semaines)

Tableau 4 : Tableau comparatif des différents matériaux constituant les conduites forcées

- La largeur nécessaire pour l'implantation de la centrale est d'environ 15 m.
- La longueur du bloc usine constitué d'un groupe de 35 m³/s est estimé à 20,00 m (non compris le convergent en amont de la grille estimé à environ 20 m)
- L'excavation globale est donc de 40,00 m de longueur par 15,00 m de largeur

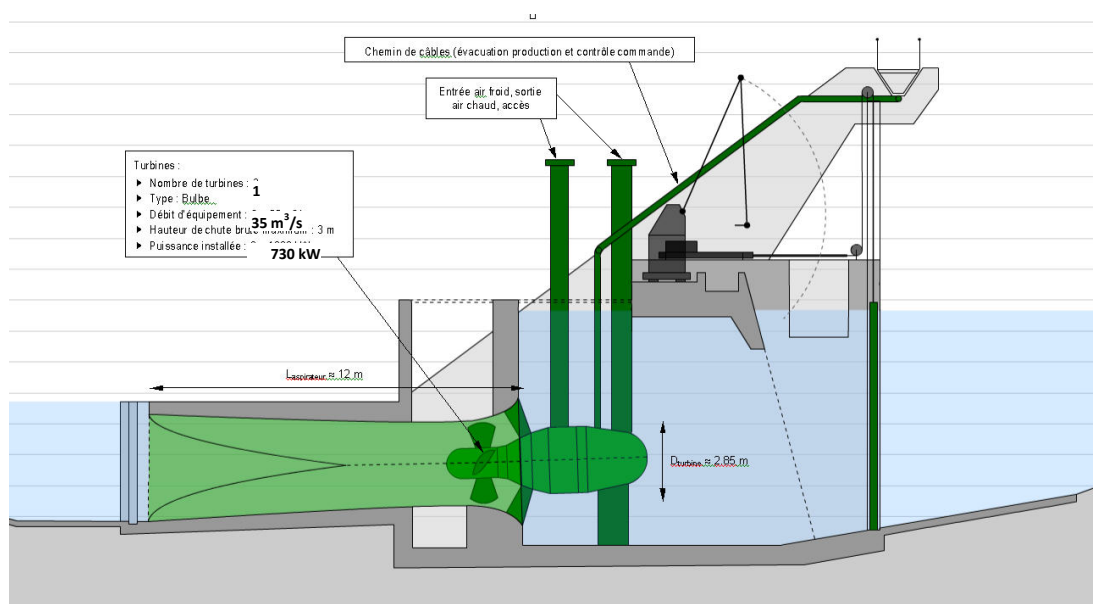


Figure 23 : Coupe longitudinale de principe de la centrale

La centrale devra être équipée d'une grille de protection contre les embâcles et d'un dégrilleur automatique commandé par l'automate en fonction des mesures du plan d'eau à l'amont et à l'aval de la grille (mesure des pertes de charge au passage des barreaux).

2.7.2.5 Équipements électriques

L'ensemble des organes de protection et de régulation pourront être intégrés au bâti (cellules, comptage, armoire d'automatisme et de commande, etc.).

Les études d'avant-projet devront permettre de mettre en évidence la possibilité d'intégrer également le transformateur à l'intérieur de la micro-centrale. La centrale se trouvant en zone urbanisée, la présence d'une ligne HTB est très probable à proximité du site.

2.7.2.6 Passe à poissons

Cadre réglementaire actuel :

- La Marne, à Chalons, est classée⁷ au titre de l'article L432-6 du code de l'environnement (obligation d'installation de dispositifs de franchissement sur les ouvrages nouveaux) mais pour l'instant sans arrêté d'espèces (donc aucune obligation pour les ouvrages existant tant que la liste d'espèce n'est pas publiée).
- La Marne dans le département de la Marne n'est pas classée rivière réservée⁸ au titre de l'article 2 de la loi du 16 octobre 1919 (loi sur l'eau). Autrement dit la construction d'une centrale hydroélectrique peut être envisagée.

7 Code de l'environnement (partie législative)

Article L432-6 : Dans les cours d'eau ou parties de cours d'eau et canaux dont la liste est fixée par décret, après avis des conseils généraux rendus dans un délai de six mois, tout ouvrage doit comporter des dispositifs assurant la circulation des poissons migrateurs. L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien de ces dispositifs.

Les ouvrages existants doivent être mis en conformité, sans indemnité, avec les dispositions du présent article dans un délai de cinq ans à compter de la publication d'une liste d'espèces migratrices par bassin ou sous-bassin fixée par le ministre chargé de la pêche en eau douce et, le cas échéant, par le ministre chargé de la mer

Article L432-7 : Le classement des cours d'eau, parties de cours d'eau et canaux intervenu au titre du régime des échelles à poissons antérieurement au 1er janvier 1986 vaut classement au titre du premier alinéa de l'article L. 432-6.

Article L432-8 : Le fait de ne pas respecter les dispositions des articles L. 432-5 et L. 432-6 est puni de 12 000 euros d'amende. ...

8 loi sur l'eau

...

Sur certains cours d'eau ou sections de cours d'eau, et dont la liste sera fixée par décret en Conseil d'Etat, aucune autorisation ou concession ne sera donnée pour des entreprises hydrauliques nouvelles. Pour les entreprises existantes, régulièrement installées à la date de la promulgation de la loi n° 80-531 du 15 juillet 1980, ou visées à l'article 27 de ladite loi, une concession ou une autorisation pourra être accordée sous réserve que la hauteur du barrage ne soit pas modifiée.

Cadre réglementaire futur à horizon 2011-2012 :

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 réforme les classements issus de la loi de 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et de l'article L432-6 du code de l'environnement afin d'intégrer la directive cadre sur l'eau en terme d'atteinte ou de respect du bon état des eaux.

Les classements actuels seront caducs dès l'établissement par le préfet coordonnateur de bassin du nouveau classement au titre de l'article L 214-17 du Code de l'environnement (prévu fin 2011-mi 2012) qui se présente sous la forme de deux listes.

Le projet de classement est actuellement dans sa phase de concertation dans chaque préfecture. Pour le département de la Marne, la rivière Marne est proposée dans les deux listes :

- Dans la Liste 1 en tant qu'axe à anguille (migrateur amphihalien).
- Dans la liste 2 en tant que cours d'eau où il est nécessaire d'assurer à la fois, le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs.

S'agissant de la Marne, le nouveau classement est donc susceptible d'identifier clairement l'anguille (liste 1) comme espèce prioritaire mais aussi l'ensemble des migrateurs (liste 2) en terme de libre circulation. L'exploitant d'un ouvrage devra assurer ces obligations par rapport aux migrateurs dans un délai de 5 ans dès la parution du classement.

Cette fonction devra être assurée au droit du site du barrage de Châlons-en-Champagne (sur le seuil de la Marne et au droit de la microcentrale si elle est envisagée, en l'occurrence sur le canal de l'écluse du Jard).

Les enjeux du futur classement et du rétablissement de la libre circulation sur le site de Châlons :

A minima il y aura une obligation de moyens et de résultats pour l'anguille :

- réalisation d'une passe pour les jeunes anguilles (amontaison) sur le barrage de Châlons
- réalisation de dispositifs d'amontaison et d'avalaison au droit de la micro-centrale
- suivi de l'efficacité des dispositifs.

La nécessité de prendre en compte le déplacement d'autres espèces lors de la construction de la microcentrale et donc d'envisager la construction de dispositifs de franchissement pour assurer leur libre circulation peut découler de la mise en compatibilité du projet avec les orientations du nouveau SDAGE Seine-Normandie, notamment celles concernant la réduction du cloisonnement des cours d'eau qui implicitement vise l'ensemble des espèces (orientations B2 : Restaurer la fonctionnalité de la rivière et de ses annexes). Dans ce cas, la mise en place d'une passe à bassins sur le barrage de Châlons peut s'ajouter aux dispositifs spécifiques à l'anguille ci-dessus.

2.8 COUT DE LA RENOVATION

Les coûts des travaux décrits au chapitre précédant sont listés dans les tableaux ci-dessous, pour chacun des scénarios étudiés.

		Scénario 1	Scénario 2
Installation, Etude et repli de chantier :		150 000 € _{HT}	250 000 € _{HT}
Batardeaux en terre :			
Mise en place d'un batardeau en remblai avec noyau en rideau de palplanches		60 000 € _{HT}	60 000 € _{HT}
Travaux de génie civil :			
Excavations , réalisation du bâti, du canal d'amenée et du canal de restitution, fourniture		500 000 € _{HT}	1 350 000 € _{HT}
Turbines, équipements électromécaniques et hydromécaniques :			
Turbines et ses équipements électromécaniques associés (multiplicateurs et générateurs, centrales hydrauliques de manœuvre des pales, etc.), grille de protection contre les embâcles et dégrilleur automatique, quatre vannes, jeu d'éléments de batardeau amovibles, et autres accessoires nécessaires au bon fonctionnement de la centrale			1 200 000 € _{HT}
Automatisme, commande et évacuation de la production :			
Sondes de mesure du plan d'eau, armoire de commande (automate programmable, pupitre de commande local et système de commande à distance), câbles électriques et de commande, cellules de protection et de comptage, transformateur, ensemble des protections de l'aménagement et de sécurité du personnel, câbles aériens d'évacuation de la production vers la ligne MT la plus proche		800 000 € _{HT}	500 000 € _{HT}
Ouvrage de franchissement		150 000 € _{HT}	150 000 € _{HT}
Aléas compris	Génie civil	1 010 000 €_{HT}	2 160 000 €_{HT}
	Équipements et raccordement	880 000 €_{HT}	1 870 000 €_{HT}
	Ingénierie	160 000 €_{HT}	350 000 €_{HT}
Total		1 890 000 €_{HT}	4 030 000 €_{HT}

Tableau 5 : Coûts des travaux de la PCH de Châlons

Ces coûts tiennent compte d'aléas de 20 % sur le génie civil et de 10 % sur l'électromécanique.

2.9 ANALYSE FINANCIERE

2.9.1 CALCUL DE LA RECETTE

2.9.1.1 Prix de vente de l'électricité

L'arrêté du 01 mars 2007 rappelé en annexe fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les nouvelles installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, cours d'eau et mers, telles que visées au 1^{er} article du décret n°2000-1196 du 6 décembre 2000 (en l'occurrence, pour les installations utilisant l'énergie hydraulique, la puissance installée doit être inférieure ou égale à 12 MW). Le contrat est signé pour une durée de 20 ans.

Les coûts d'investissement liés aux scénarii étudiés étant supérieurs à 1000 €/kW, le projet sera considéré mis en service après le 01 mars 2007 et les tarifs fixés par l'arrêté du 01 mars 2007 pourront donc être appliqués.

2.9.1.2 Recette brute et nette

La **recette brute** est déterminée à partir de la production moyenne annuelle et du prix de vente de l'énergie (chapitre 2.9.1.1), y compris l'éventuelle prime de majoration permise par une certaine régularité de la production pendant les mois de décembre, janvier et février.

La **recette nette** est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$\begin{aligned} \text{Recette nette [€/an]} &= \text{Energie vendue [kWh/an]} \\ &\quad \times \text{Prix de vente [€/kWh]} \\ &\quad \times \text{Taux de disponibilité des machines [-]} \\ &\quad - \text{Frais de fonctionnement [€/an]}. \end{aligned}$$

Les calculs montrent qu'un **tarif à quatre composantes est plus avantageux** pour le site de Châlons. Les recettes brute et nette, calculées sur la base des tarifs de vente de l'énergie (tarifs de l'annexe 1 de l'arrêté du 01 mars 2007, applicables aux nouvelles installations) sont les suivantes.

	Scénario 1	Scénario 2
Prix de vente moyen annuel	9,1 c€/kWh	7,84 c€/kWh
Dont prime de régularité en hiver	1,31 c€/kWh	1,31 c€/kWh
Recette brute	203 000 €	284 000 €
Recette nette (coûts d'exploitation déduits)	172 000 €	241 000 €

Tableau 6 : Recettes de l'aménagement

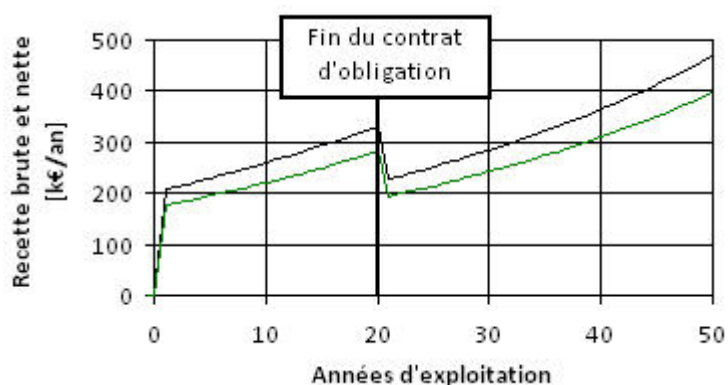


Figure 24 : Evolution de la recette de l'aménagement pour le scénario 1

2.9.2 CARACTERISTIQUES FINANCIERES DU PROJET

L'analyse financière consiste à extraire les paramètres pertinents (taux de rentabilité interne, bénéfice net actualisé, prix de revient, etc.) du cahier d'exploitation de l'aménagement, élaboré sur la base des hypothèses financières listées ci-après.

2.9.2.1 Paramètres de l'analyse financière

- Prix de vente contractuel moyen de l'énergie (contrat d'achat) y compris la prime de régularité et certificat vert dépendant des tarifs de l'arrêté du 01 mars 2007 sur une durée de 20 ans (puis prix estimé à environ 0,07 €/kWh)
- Taux d'indisponibilité des machines (pannes et maintenances) : 5 % du temps (arrêts de production relative à la maintenance et aux pannes)
- Coût de fonctionnement pour l'exploitation d'un seul site : 15 % de la recette brute (frais de personnel, maintenance préventive et fourniture liée à l'exploitation, taxe professionnelle et taxe hydraulique)
- Durée de construction : 1 an
- Durée de vie du génie civil / équipements électromécaniques : 50 ans / 25 ans
- Emprunt : 80 % du coût total sur **20 ans**, taux d'intérêt de **4,5 %**
- Impôts : 33 % (prise en compte du déficit reportable des premières années et de la dotation aux amortissements)
- Taux d'actualisation nominal : 6 %
- Taux d'inflation : 2 %
- Taux d'inflation du coût de l'énergie : 2 %
- TVA : 19,6 % (il est supposé une récupération de la TVA par l'exploitant)

2.9.2.2 Résultats de l'analyse financière

Les principaux résultats financiers sont regroupés dans le tableau et la figure ci-après.

	Scénario 1	Scénario 2
Recette brute annuelle	203 000 €	284 000 €
Coûts d'investissement HT	1 900 000 €	4 000 000 €
Taux de rentabilité interne (TRI)	11,1%	5,9%
Bénéfice net actualisé (BNA)	770 000 €	-30 000 €
Taux d'enrichissement en capital (TEC)	37,6%	- 0,6%
Temps de retour brut	11,6 ans	17,7 ans
Temps de retour actualisé	18,2 ans	> 50 ans
Prix de revient	5,59 c€/kWh	6,74 c€/kWh

Tableau 7 : Principaux résultats financiers du projet

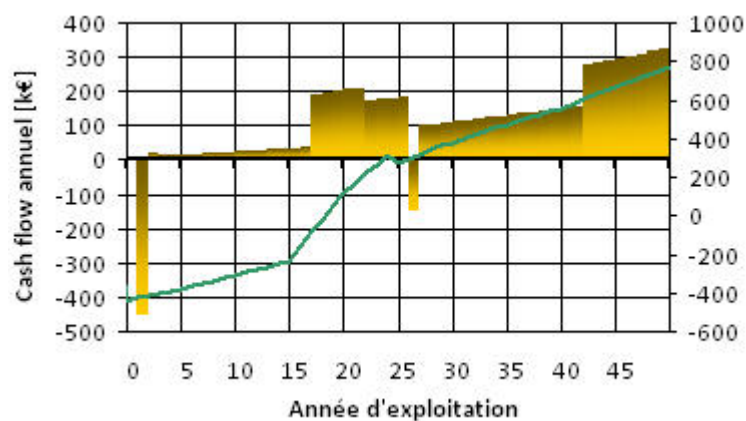


Figure 25 : Courbe des flux financiers pour le scénario 1 - Châlons

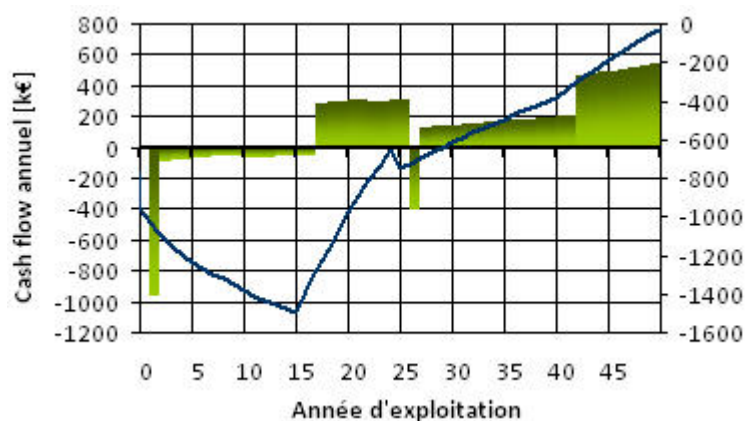


Figure 26 : Courbe des flux financiers pour le scénario 2 - Châlons

2.10 CONCLUSION POUR LE SITE DE CHALONS

La présente section résume l'étude de faisabilité pour l'équipement du site de Châlons dans le département de la Marne.

Deux solutions ont été étudiées pour ce site prenant en compte le potentiel énergétique du site, l'ichtyophilie et la réglementation en vigueur.

Les variantes d'équipement possibles consistaient en la mise en place de turbines Kaplan ou VLH en rive droite du barrage au droit de l'ancienne écluse.

Le Tableau 8 regroupe les principaux résultats techniques et financiers de cet aménagement pour les deux scénarios étudiés.

	Scénario 1	Scénario 2
Débit d'équipement	19 m ³ /s	35 m ³ /s
Chute brute maximum	3,1 m	3,1 m
Coûts d'investissement	2 050 000 €	4 380 000 €
Puissance maximum disponible	400 kW	730 kW
Productible	2,23 GWh/an	3,62 GWh/an
Recette nette	172 000 €	241 000 €
Temps de retour brut	11,6 ans	17,7 ans
Prix de revient	5,59 c€/kWh	6,74 c€/kWh
Taux de Rentabilité Interne	11,1%	5,9%
Bénéfice Net Actualisé (50 ans)	770 000 €	-30 000 €

Tableau 8 : Caractéristiques techniques et financières du projet

L'analyse montre que le scénario 1 qui consiste en la mise en place d'une turbine VLH en aval de l'ancienne écluse présente des caractéristiques financières nettement plus intéressantes que le second.

En effet, les lourds travaux prévus sur le canal et la difficulté d'accès au site augmentent significativement les coûts d'investissements du scénario 2.

L'équipement du site pourra permettre :

- **d'éviter l'émission de 100 t de CO₂ chaque année et d'alimenter plus de 800 foyers.**
- d'aménager une passe à poissons,
- d'afficher une volonté claire du Maître d'Ouvrage d'**engagement pour les énergies propres** et le respect de l'environnement.

3 BARRAGE DE RECY

3.1 PRESENTATION DU SITE

Le barrage de Recy a été construit initialement pour la création d'un plan d'eau de loisirs en étiage à l'aval de l'agglomération châlonnaise.

Il se compose de deux clapets de 25 m de large, hauts de 3 m.



Figure 27 : Vue aérienne du barrage de Recy

Ce barrage a été construit en 1974 et autorisé en 1971 (pour une durée de 19 ans). L'arrêté d'autorisation a été récupéré par ISL auprès du service police de l'eau du département de la Marne (annexé au présent rapport).

Cet arrêté autorise la construction et l'usage du barrage de Recy par la ville de Châlons-sur-Marne pour la création d'un plan d'eau d'agrément en aval de l'agglomération.

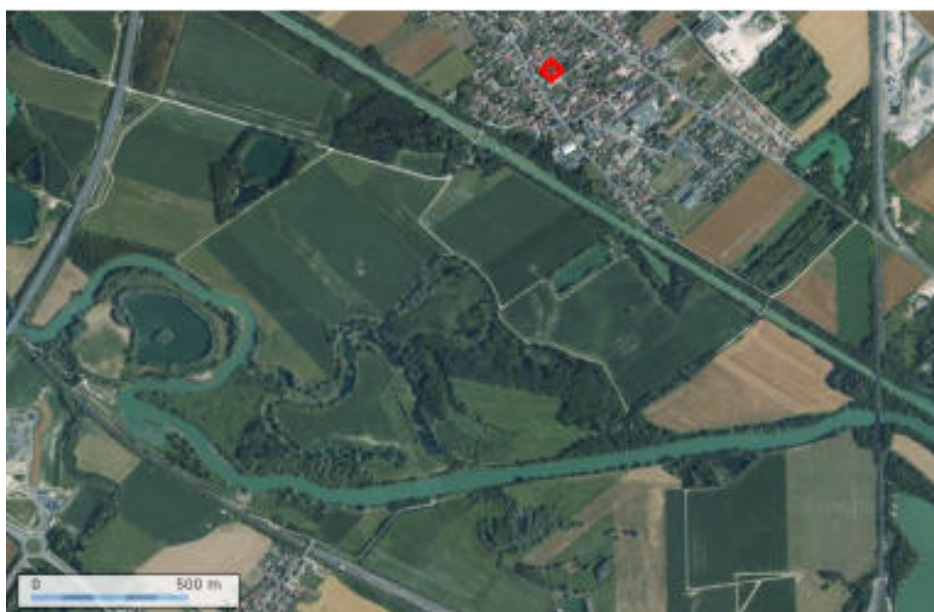


Figure 28 : Vue aérienne de la zone d'emprise initiale du projet de plan d'eau de Recy

La création de ce plan d'eau devait passer par :

- La construction d'un barrage mobile constitué par un radier en béton implanté dans une déviation artificielle de la Marne (seuil 75,80 NGF). Ce radier est surmonté à chaque extrémité d'une culée arasée à la cote 79,30. Il était également prévu un passe-canot sur la rive gauche ;
- Le creusement d'un bassin par élargissement progressif du lit majeur depuis le pont SNCF à l'amont jusqu'à proximité de la rampe d'accès du chemin communal aboutissant au pont de Recy ;
- La réservation d'aires pour l'aménagement d'espaces verts et la circulation de véhicules.

Aujourd'hui, seul le barrage a été construit. Les autres parties du projet initial ayant été abandonnées.

3.2 DONNEES HYDROLOGIQUES

3.2.1 METHODOLOGIE

La DIREN, et dans certains cas EDF, gère les données recueillies auprès de l'ensemble des stations hydrologiques réparties sur le territoire. Ces données, disponibles auprès de la Banque Nationale Hydrologique, permettent de connaître les caractéristiques du cours d'eau au droit de la station : crues, étiages, débits moyens mensuels, courbe des débits classés, etc.

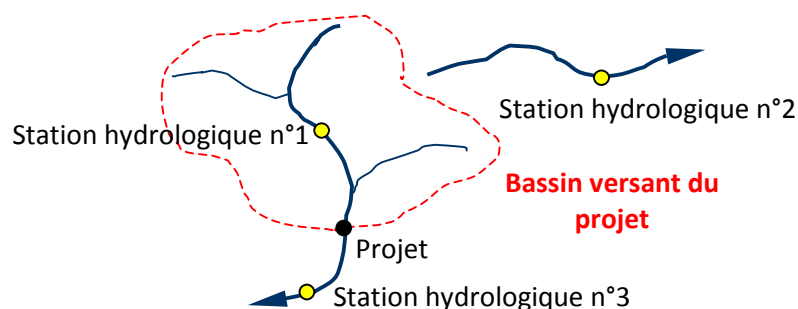


Figure 29 : Représentation schématique d'un bassin versant et des stations hydrologiques disponibles

S'il existe une station hydrologique proche sur le même cours d'eau, il est possible de déterminer directement les caractéristiques hydrologiques au droit de la prise d'eau par homothétie de surface de bassin versant (S_{BV}) :

$$Q(t)_2 = \frac{S_2^{BV}}{S_1^{BV}} Q(t)_1$$

3.2.2 DEBITS AU DROIT DE L'AMENAGEMENT

Il existe plusieurs stations hydrométriques mesurant les débits de la Marne. La station la plus proche des ouvrages se trouve sur la commune de Châlons en aval immédiat du barrage de Châlons (station H5201010).

Cette station ne prend pas en compte les débits de la Marne prélevés en amont du barrage de Châlons ainsi que ceux des cours d'eau qui arrosent l'agglomération châlonnaise.

Il est donc proposé d'utiliser cette station hydrométrique moyennant un rapport de bassins versants entre la station et le barrage de Recy afin d'estimer les débits de la Marne au droit du site.

La surface de bassin versant au droit de la station H5201010 est de 6 280 km². Il est estimé au droit du barrage de Recy à 6 550 km².

Le tableau ci-dessous donne les principales informations concernant les débits de la Marne utilisés dans la suite de l'étude.

Débit moyen interannuel	75,85 m³/s
Débit médian	51,21 m³/s
Débit moyen en été	50,43 m ³ /s
Débit moyen en hiver	110,62 m ³ /s

Tableau 9 : Principales caractéristiques du cours d'eau au droit du barrage de Recy (depuis février 1989)

La courbe des débits classée de la Marne au droit du site est présentée sur la figure ci-dessous.

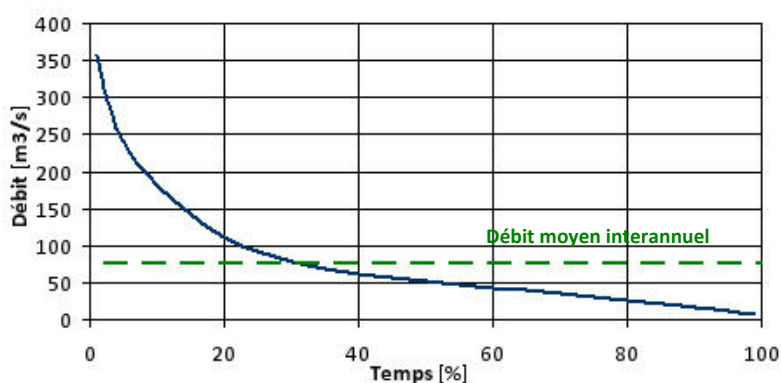


Figure 30 : Courbe des débits classés au droit du barrage de Recy

3.3 CONTRAINTES LIEES A L'EQUIPEMENT DU SITE

3.3.1 VOLET ADMINISTRATIF

3.3.1.1 Usage du barrage

Le projet a été autorisé pour la création d'une base régionale de plein air dans le cadre du programme d'équipement sportif et socio-éducatif arrêté par l'état.



Figure 31 : Plan de la zone d'emprise initiale du projet de plan d'eau de Recy

Il semble difficile d'envisager le renouvellement de l'autorisation à des fins de production d'énergie.

3.3.1.2 Exploitation de la chute

L'arrêté autorise la création d'une chute pendant la période d'étiage seulement.

Extrait de l'article 4 de l'arrêté préfectoral du 06 octobre 1971 :

« Durant l'hiver la vanne sera maintenue en position "basse" c'est-à-dire entièrement effacée et devra reposer sur les butées prévues à cet effet dans le radier.

La vanne ne sera placée en position "haute" que pendant la saison estivale correspondant à l'étiage de la rivière »

Il semble donc difficile d'envisager l'équipement d'un site pour une production sur la période d'étiage uniquement, les frais d'équipement seraient beaucoup trop importants par rapport au gain espéré. De plus, la puissance installée serait faible en comparaison avec le potentiel du site en raison des faibles débits en cette période.

3.3.2 VOLET TECHNIQUE

3.3.2.1 Influence sur le barrage de Châlons

Le plan d'eau initialement envisagé pour le barrage de Recy se situait à la cote 78 m. La distance entre le barrage de Châlons et celui de Recy est d'environ 5 300 m.

La création d'une retenue permanente à Recy entraîne l'augmentation du niveau du plan d'eau aval du barrage de Châlons.

En supposant une pente du lit de la Marne de 0,1 m/km, le du plan d'eau aval du barrage de Châlons serait d'environ 78,53 m, soit une perte de chute supérieure à 1 m en étiage (plus de 30% de la chute disponible au barrage de Châlons).

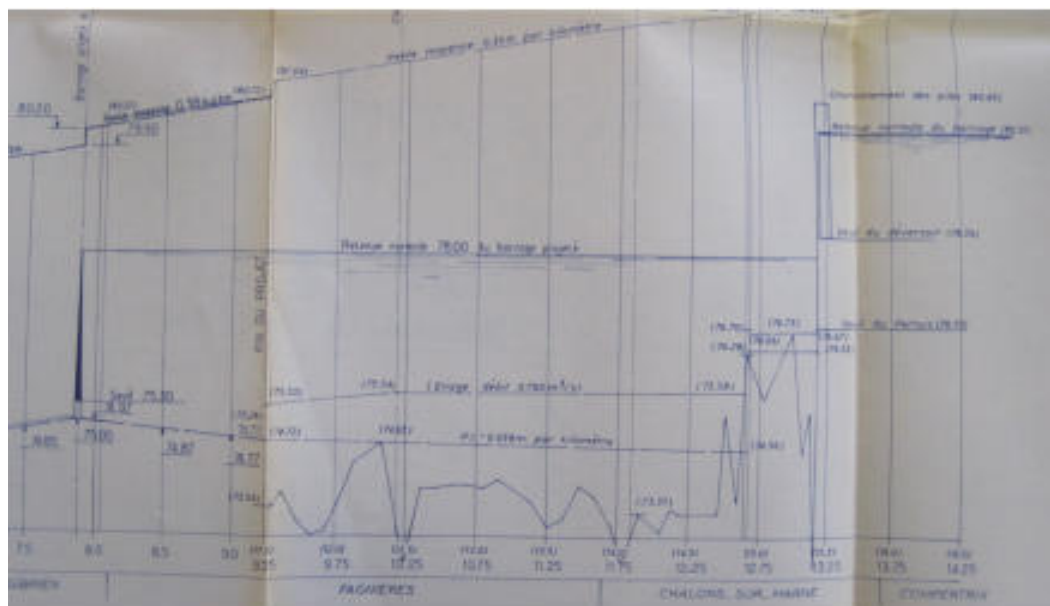


Figure 32 : Profil en long de la Marne projeté après réalisation du plan d'eau de Recy

Dans l'hypothèse d'un équipement hydroélectrique du barrage de Recy, la chute disponible au droit du site de Châlons serait diminuée par rapport à l'actuelle diminuant ainsi le potentiel énergétique de ce site d'environ 40% (estimations réalisées dans le chapitre 2).

3.3.2.2 Influence sur le réseau hydraulique de Châlons

La création d'une retenue pourra affecter le fonctionnement des ouvrages hydrauliques présents sur le réseau châlonnais. En effet, le niveau aval étant plus important qu'actuellement, les capacités d'évacuation des siphons seraient réduites et les niveaux dans le réseau augmentés.

De plus, la création du barrage réservoir de la Marne en 1974 a pour conséquence des débits plus importants que ceux prévus en 1971 en période d'étiage.

3.3.3 VOLET ENVIRONNEMENTAL

3.3.3.1 Milieux aquatiques

La création de ce plan d'eau provoquera la disparition ou la modification dans la zone d'emprise des nombreux milieux aquatiques, terrestres et autres zones humides qui couvrent le lit mineur et majeur de la Marne à cet endroit et qui ont un intérêt écologique reconnu en tant que Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique de type I (Znieff I) n° 210008985 « Noues et cours de la de la Marne, prairies, gravières et boisements de Récy à Matougues ». Cette zone naturelle compte plusieurs espèces animales et végétales protégées et/ou inscrites sur les listes rouges de Champagne-Ardenne.

3.3.3.2 Continuité écologique

La création d'une chute temporaire (pendant la saison estivale selon l'arrêté), sera une entrave à la continuité écologique, notamment à la libre circulation piscicole. Même s'il n'est pas permanent, l'obstacle est de nature à limiter le déplacement du poisson. En effet, à cette saison où les conditions « adverses » sont plus fréquentes (augmentation de la température, de la turbidité, baisse du taux d'oxygène) et ce malgré le soutien d'étiage, le poisson peut être amené à effectuer des changements imposés de milieu et donc des

déplacements plus ou moins longs vers des sites plus favorables à l'amont dans le chenal ou dans les systèmes latéraux.

Le plan d'eau constituera également un facteur important de réchauffement de la Marne à l'aval du fait du ralentissement de l'écoulement et en ce sens il sera un élément perturbateur majeur pour l'ensemble de la faune aquatique.

La conséquence est donc une perte de biodiversité et de profondes modifications de la nature des peuplements et de la fonctionnalité des milieux.

3.3.3.3 Compatibilité avec le SDAGE Seine-Normandie

Le projet de création de plan d'eau n'est pas compatible avec le nouveau SDAGE Seine-Normandie dont plusieurs orientations vont dans le sens du rétablissement de la continuité écologique des cours d'eau et du maintien de la biodiversité et de la fonctionnalité des cours d'eau. On peut citer à titre d'exemple l'orientation B2 « limiter le cloisonnement des milieux aquatiques par les ouvrages transverses ou latéraux permet de rajeunir les cours d'eau, de résoudre des problèmes locaux d'eutrophisation et d'envasement et de retrouver une vie aquatique et piscicole autonome sur les rivières. L'effacement des ouvrages obsolètes et l'ouverture des vannages obsolètes sont souvent des solutions moins onéreuses que la restauration de ces ouvrages avec construction de passes à poissons. L'ouverture des vannages et l'effacement des ouvrages obsolètes après avis des services compétents sont préconisés ».

Le projet de classement des cours d'eau conformément à l'article L 214-17 du code de l'environnement constitue une nouvelle contrainte pour ce type de projet. La Marne est pressentie pour faire partie des cours d'eau sur lesquels aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique (liste n° 1), ce qui est le cas du barrage de Recy.

3.3.4 PRATIQUE DE LA PECHE

Le caractère trop temporaire du nouveau plan d'eau ne se prêtera pas ou peu à la pratique de la pêche à la ligne (temps de mise en eau et de vidange non propices, difficultés de créer et d'entretenir des mises à l'eau permanentes, végétation noyée constituant autant d'obstacles,...).

Les pêcheurs vont donc perdre des lieux de pêche qu'ils connaissent bien alors qu'ils n'auront aucune perspective rassurante avec le plan d'eau.

L'étude d'impact devra prendre en compte le point de vue des associations de pêche locales et de la Fédération de la pêche et de la protection des milieux aquatiques de la Marne.

3.3.5 MILIEU PHYSIQUE

3.3.5.1 Physicochimie

Au plan de la qualité d'eau, l'immersion des milieux naturels et de leur végétation entraînera la dégradation d'une grande quantité de matière organique dont le principal effet sera l'appauvrissement en oxygène du plan d'eau. Le réchauffement de l'eau du fait même du ralentissement de l'écoulement accentuera à son tour la consommation d'oxygène par les micro-organismes. In fine la production d'azote et de phosphore au sein même du plan d'eau constituera un facteur favorable pour l'apparition d'algues planctoniques (eutrophisation) y compris des cyanophycées susceptibles de libérer des toxines, pouvant entraîner des mortalités piscicoles, menacer l'alimentation en eau potable à l'aval et les activités aquatiques se déroulant sur le site.

3.4 CONCLUSION ET REMISE EN ETAT DU SITE

Compte tenu des contraintes hydrauliques (création d'un remous non autorisé), l'équipement hydroélectrique du site n'est pas envisageable. Se pose alors la question de la remise en état du site conformément aux termes de l'arrêté préfectoral autorisant le barrage de Saint-Gibrien en 1971.

Cette remise en état du site nécessite une étude spécifique d'un point de vue de la géomorphologie. En effet, il n'est pas possible d'enlever simplement les structures de génie civil puisque, depuis 1974, un nouvel état d'équilibre de la rivière s'est créé tenant compte de la coupure du méandre et, surtout, du point fixe dur que constitue le radier bétonné.

Le risque induit concerne la stabilité de la rivière et de ses berges autour du site.

Plusieurs pistes devront donc être étudiées en fonction des caractéristiques de la rivière (pente du fond et des berges, granulométrie du fond) et la remise en état pourra passer par un reméandrement correspondant éventuellement à l'ancien tracé de la Marne.

Cette analyse purement physique devra nécessairement s'accompagner d'une analyse plus poussée des impacts sur l'écosystème en place. Les phénomènes d'érosion du fond constituent a priori la plus grande menace pour les habitats et les espèces. Les aménagements nécessaires pour les juguler (protection de berge, seuil noyé,...) seraient à leur tour une source de nuisances pour la faune et la flore.

Dans ces conditions, la solution du reméandrement offre sans doute de meilleures garanties pour la reconstitution d'un milieu fonctionnel au plan écologique.

4 CENTRALE DE CONDÉ-SUR-MARNE

4.1 PRESENTATION DU SITE

Le site de Condé-sur Marne a été aménagé en 1869 (canal, usine hydraulique équipée de pompes, aqueduc). Il servait à alimenter en eau le canal de l'Aisne à la Marne à partir de Condé-sur-Marne.

L'ouvrage de Condé-sur-Marne se compose :

- d'un canal reliant la prise d'eau de Saint-Martin-sur-le-Pré à la centrale de Condé initialement conçu pour transférer des débits de 20 à 25 m³/s ;
- d'une usine hydraulique, devenue hydroélectrique par la suite, permettant de refouler à la demande le débit d'apport nécessaire au canal de l'Aisne à la Marne ;
- des équipements annexes (aqueduc et conduites gravitaires).



Figure 33 : Représentation schématique du site de Condé-sur-Marne

4.1.1 RIGOLE DE CONDE

Le canal était initialement utilisé pour l'alimentation en eau depuis le réseau châlonnais puis à la production hydroélectrique. Il jouait également un rôle annexe dans la protection contre les risques d'inondation en périodes de crues.

Le canal est actuellement sec (vanne amont fermée) et a été envahi par la végétation.

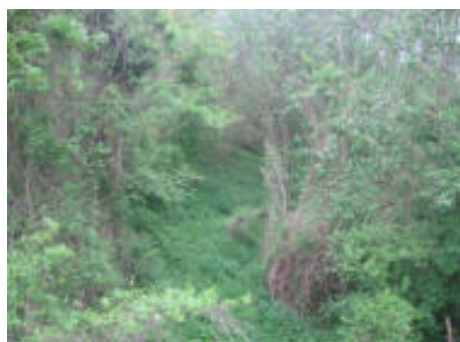


Figure 34 : Photo de la Rigole de Condé

Les caractéristiques du canal d'amenée sont les suivantes :

- longueur : 14 176 m,
- largeur au plafond : 15 m,
- profondeur moyenne : 2,70 m,
- pente des berges intérieures : 3/2
- débit total après la prise de Juvigny : 20 m³/s.

4.1.2 CENTRALE

Les pompes d'origines sont remplacées par 3 groupes centrifuges à moteur diesel en 1924.

En 1931, l'usine est équipée de turbines hydroélectriques et sera reprise en 1962 par EDF.

La production est arrêté en 1981.

La centrale est actuellement équipée de quatre turbines Kaplan. Lors de son exploitation, elle fournissait en énergie trois pompes chargées de l'alimentation en eaux du canal de la Marne à l'Aisne (au niveau de Vaudremanges).



Figure 35 : Centrale hydroélectrique de Condé-sur-Marne

4.2 HISTORIQUE DU SITE

- | | |
|---------|--|
| 1869 | Construction du canal de Condé (canal, usine hydraulique et aqueduc), vingt ans après celle du canal latéral à la Marne. |
| 1924 | Les pompes d'origine sont remplacées par 3 groupes centrifuges à moteur diesel. |
| 1930/31 | Installation d'une centrale hydroélectrique. |
| 1962 | Reprise par E.D.F. de l'exploitation de la centrale hydroélectrique suite à l'abandon du halage par tracteurs électriques (plus d'intérêt pour la navigation). |
| 1981 | <p>Projet de fermeture de la centrale hydroélectrique.</p> <p>Projet de remise en état des ouvrages du canal de Condé. Ce projet serait financé par le District et subventionné à 40 % du coût H.T. par l'Agence Financière de Bassin Seine-Normandie.</p> <p>Etude préliminaire sur le drainage de CHALONS-EN-CHAMPAGNE, commandée par l'Agence Financière de Bassin Seine-Normandie.</p> |
| 1982 | <p>Etude sur le devenir de la rigole de Condé. Le Département assure la maîtrise d'ouvrage. Participation financière du District à hauteur de 20 000 F.</p> <p>Etude d'impact des différentes solutions envisagées (CETE de l'Est).</p> |
| 1983 | <p>Installation de deux pompes submersibles à la station de Condé-sur-Marne. Le canal de Condé ne joue plus aucun rôle pour la navigation.</p> <p>Déclassement envisagé du Domaine Public Fluvial des ouvrages du canal de Condé (lettre favorable du Ministre des Transports).</p> |
| 1984 | <p>E.D.F. cesse son activité sur le canal de Condé.</p> <p>Les problèmes futurs soulevés par l'abandon du canal de Condé sont mis à l'ordre du jour.</p> |
| 1985 | <p>Document sur le devenir du canal de Condé réalisé par la D.G.S.T. de Châlons.</p> <p>Quelques sociétés sont intéressées par la reprise éventuelle de l'exploitation de la centrale hydro-électrique et l'entretien du canal.</p> |
| 09/85 | Constitution d'un groupe de travail au sein du District de Châlons. |
| 12/85 | Le District adopte un accord de principe pour la prise en charge par le District des ouvrages du canal de Condé si remise sans frais à la Collectivité, et sous |

réserve d'obtenir les subventions sollicitées (Préfecture, Conseil régional, Conseil général).

Le District décide de lancer un appel d'offre auprès d'entreprises spécialisées pour connaître les coûts et conditions dans lesquelles la réhabilitation du canal de Condé et l'exploitation de l'ancienne centrale hydro-électrique pourraient être envisagées.

1986/87 Réponse négative de la Région et du Département à la demande de subvention.

1988 Etude complémentaire concernant le devenir du canal de Condé. Problèmes posés par l'abandon éventuel du canal de Condé toujours à l'ordre du jour.

Possibilité d'obtenir une subvention de 50% pour frais d'une étude de faisabilité du projet "canal de Condé" annoncée par le Préfet.

Nécessité de mesures conservatoires à prendre avant l'hiver 88/89 pour assurer un minimum de débit dans le canal de Condé permettant d'évacuer les eaux de drainage. Le coût est estimé à 2 000 000 F. Le District refuse de financer ces travaux qu'il estime être à la charge de son propriétaire, l'Etat.

1989 Fermeture du canal de Condé à tout transit d'eau (effective le 09/01/89) pour des raisons de sécurité, une rupture de digue étant possible.

Le District de Châlons lance un appel d'offres pour la réalisation de travaux permettant l'évacuation de ses eaux de ruissellement et de drainage, suite à la fermeture du canal de Condé. Le choix de la solution et la réalisation de ces travaux dépendra des coûts estimés. Renouvellement des demandes de subvention.

12/1990 Le Préfet initie la constitution d'un groupe de réflexion sur les problèmes d'évacuation des eaux de l'agglomération châlonnaise et des risques d'inondation induits en cas de précipitations importantes ou persistantes. La mise en place d'un "Etat Major Local de Crise" est aussi envisagé pour le cas où aucune solution ne pourrait être apportée, dans l'immédiat, à ces problèmes.

1991 Aucune solution n'a permis de solutionner les problèmes d'évacuation des eaux de ruissellement et de drainage de l'agglomération châlonnaise à hauteur de SAINT-MARTIN. Le District ne souhaite pas que soit constitué un Etat Major Local de Crise, jugeant qu'en cas d'inondation très importante, une cellule de crise adaptée pourra résoudre les problèmes inhérents à ce type d'événement.

1995 Enquête publique pour le déclassement du domaine public de l'Etat de la rigole de Condé. Voies Navigables de France en demeure le propriétaire.

4.3 HYDROLOGIE

L'usine de Condé-sur-Marne est alimentée par le réseau châlonnais lui-même principalement alimenté par la Marne ainsi que par les cours d'eau Moivre, Blaise, Nau et Mau.

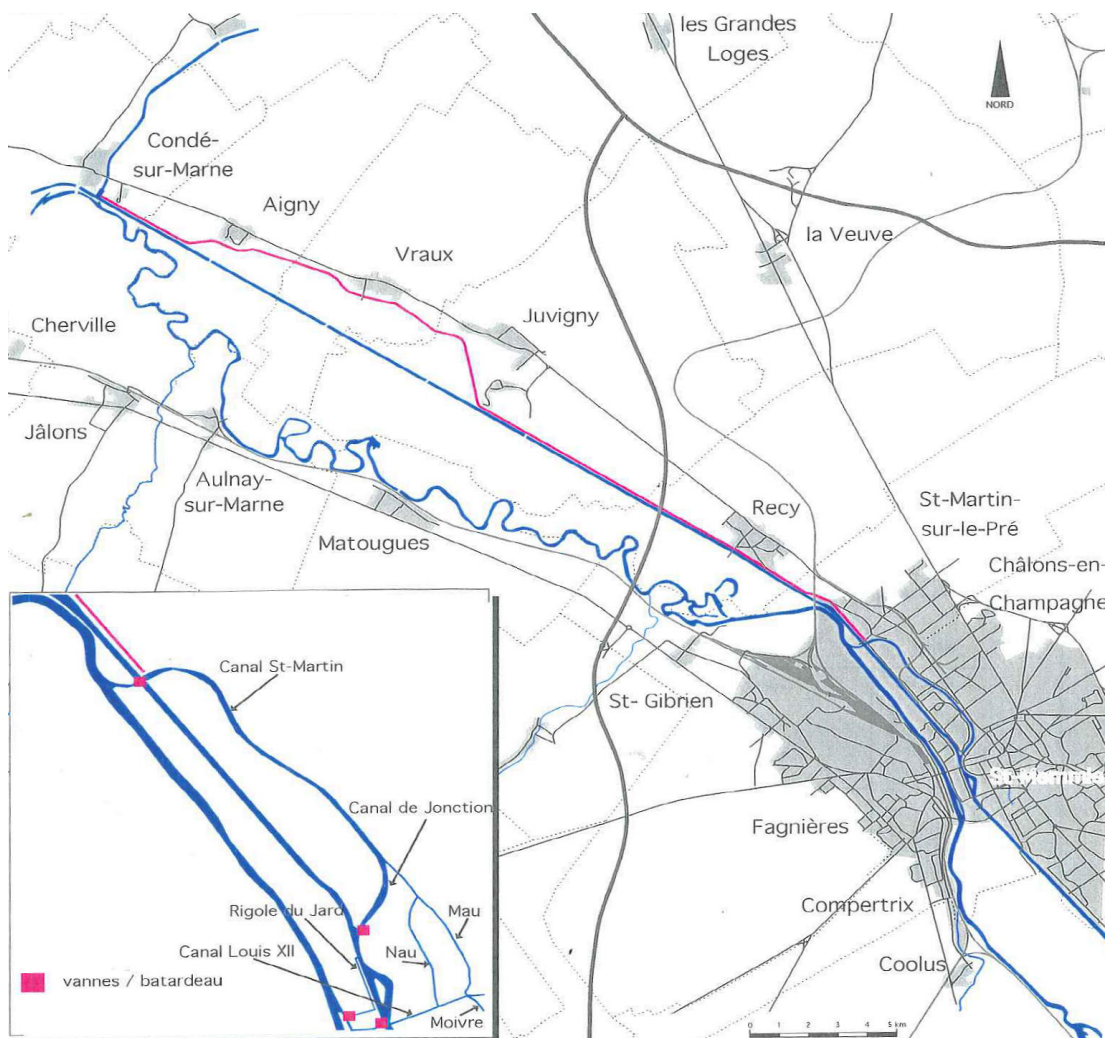


Figure 36 : Représentation schématique du réseau hydraulique de Châlons

Il est supposé dans la suite que les débits prélevés à la Marne peuvent être majoritairement dérivés vers l'usine de Condé-sur-Marne et que les apports des autres cours d'eau sont rejetés par le déversoir St Martin.

De cette manière, les courbes de débits utilisées pour la centrale de Condé sont très similaires à celles du barrage de Châlons présentées en Figure 7 et Figure 8.

4.4 CHUTE BRUTE DISPONIBLE

Le profil en long fourni par VNF indique un niveau d'eau de 78,10 m en amont des grilles de la centrale.

Le niveau aval est disponible sur le plan de coupe de la centrale de Condé-sur-Marne. La valeur donnée en étiage est de 71,54 m.

La chute brute maximale retenue au droit du site est donc estimée à 6,5 m.

Les variations de la chute au droit de l'usine sont difficiles à décrire. En première approche, il est supposé que le niveau du plan d'eau amont de l'usine est constant.

L'étude réalisée par ISL en 1997 mentionne des variations de la chute du site entre les valeurs 6,5 m et 3,25 m.

La variation du niveau aval de l'usine sera fortement dépendante des régimes d'écoulement de la Marne notamment en période de crues. La figure ci-après présente la variation de la chute obtenue pour un niveau amont fixe et un niveau aval variant en fonction des débits de la marne et de sa géométrie au droit de la restitution. Cette courbe de chutes classées a été calée en fonction des valeurs notées plus haut.

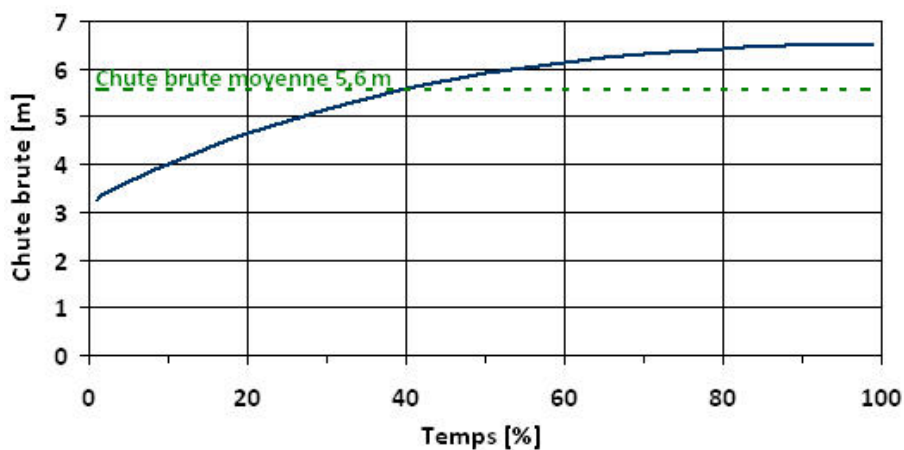


Figure 37 : Courbe des chutes classées de l'usine de Condé

4.5 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

4.5.1 MILIEU BIOLOGIQUE

La rigole de Condé ne possède aucun statut particulier par rapport à sa faune, sa flore ou les milieux naturels qu'elle abrite.

D'après une étude de 1996 (publication du Syndicat Mixte du Schéma Directeur de la Région de Chalon-sur-Marne, Environnement Conseil), la rigole de Condé présentait à cette époque un intérêt particulier dû à la présence d'espèces rares en Champagne-Ardenne, notamment des oiseaux comme la Rousserolle verderolle et la Rousserolle effarvatte.

Depuis 1996, la rigole s'est fortement boisée, ce qui en théorie n'est pas favorable aux espèces de milieux ouverts à végétation herbacée haute (roselière) ou à buisson comme ces deux espèces de Rousserolle. D'autres espèces au contraire peuvent avoir bénéficié de la progression naturelle des boisements. Nous n'avons pas connaissance d'études ou de documents récents pouvant le confirmer.

4.5.2 LE MILIEU HUMAIN

4.5.2.1 Usages de l'eau

Les eaux pouvant être utilisées dans la centrale de Condé seraient prélevées sur le canal St-Martin, avant leur restitution à la Marne.

Le prélèvement de débits au droit du déversoir St-Martin ne devrait pas engendrer de conflits d'usage dans le cas où un débit d'environ 1 à 2 m³/s restitué à la Marne par le déversoir St-Martin.

4.5.2.2 Pêche à la ligne

Il n'est pas certain que le canal en eau puisse être ouvert à la pratique de la pêche à la ligne pour des raisons de sécurité. En outre son caractère artificiel réduit considérablement son intérêt pour le poisson et pour la pratique de cette activité.

4.5.2.3 Paysage

Intégration paysagère des structures de l'aménagement :

Les solutions présentées plus bas sont développées de façon à ne pas modifier de façon significative le paysage. Elle permettront de valoriser un potentiel énergétique lié à des structures construites initialement pour la valorisation des débits du cours d'eau.

4.5.2.4 Bruit

Impact sonore des éléments tournants, et notamment des multiplicateurs et des génératrices :

Le site ne se trouve pas à proximité immédiate d'habitations et comporte des pompes. L'installation de nouvelles turbines ne devrait donc pas occasionner une gêne significative pour les riverains.

Des mesures devront toutefois être effectuées afin d'évaluer la situation acoustique du site avant l'implantation des turbines. Elles permettront de déterminer les niveaux sonores à respecter lors du fonctionnement de la microcentrale en accord avec l'arrêté du 23 janvier 1997⁹.

⁹ Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (JO du 27 mars 1997)

4.6 ESTIMATION DES PRODUCTIONS

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

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

4.6.1 DEBIT D'EQUIPEMENT

Bien que la rigole ait été initialement utilisée pour des débits allant jusqu'à 25 m³/s, nous préconisons un débit d'équipement de **20 m³/s** afin de réduire les travaux sur la rigole et de garantir sa stabilité.

4.6.2 POTENTIEL BRUT DU SITE

4.6.2.1 Notion de puissance maximum brute

Lorsque l'on parle de puissance administrative, par exemple dans les droits d'eau autorisant l'exploitation d'un site, il s'agit de la puissance maximum brute (PMB), définie comme suit :

$$PMB = \rho Q_e g H_b \text{ [kW]}$$

La PMB dépend uniquement des « données naturelles » du site, à savoir la chute brute exploitable H_b et le débit total turbiné Q_e , appelé aussi débit d'équipement. Pour le site de Condé, la **Puissance Maximum Brute vaut 1 270 kW**.

Cette puissance ne prend donc pas en compte les différents phénomènes physiques pouvant engendrer une réduction de la puissance exploitable, tels que :

- les contraintes environnementales (limitation du débit d'équipement et du fonctionnement de la centrale, débit réservé, etc.).
- les limitations, contraintes et pertes dépendantes des structures et des équipements (pertes de charge, adaptation des machines, rendements des équipements, etc.).

Ces contraintes doivent être prises en compte pour estimer le potentiel réel (voir chapitre suivant).

4.6.2.2 Productible annuel moyen

Le productible annuel moyen est déterminé en tenant compte de l'ensemble des paramètres physiques du site (hydrologie, chute brute exploitable et effacement de la chute), des contraintes environnementales (débit réservé, restriction éventuelle de la production durant certaines périodes de l'année) et des caractéristiques de dimensionnement des structures et des équipements de l'aménagement (pertes de charge, adaptation des machines aux variations de débit et de chute, colline de rendement des turbines, etc.).

Chute brute maximum	6,5 m
Débit d'équipement	20 m ³ /s
Puissance maximum brute (PMB)	1 270 kW
Puissance électrique maxi.	960 kW
Productible annuel	5,87 GWh/an
Production estivale - hivernale	56% - 43%
Coefficient de charge	6 100 h/an
Gain d'émission de G.E.S.¹⁰	276 tonnes

Tableau 10 : Puissance et productible du projet de Condé

Le résultat est présenté sous la forme d'une courbe du productible donnant la puissance produite dans le temps.

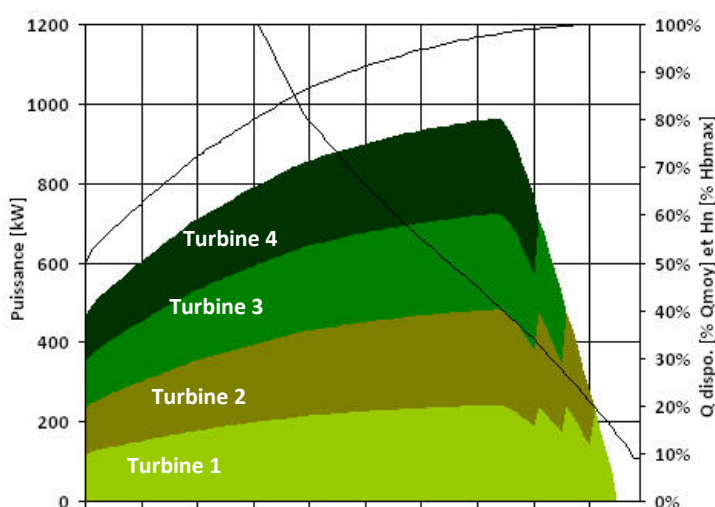


Figure 38 : Courbe du productible moyen du projet de Condé

4.7 TRAVAUX DE REHABILITATION

La solution envisagée est la réhabilitation à section égale de la centrale et du canal.

4.7.1 PRISE D'EAU

Des auscultations des vannes de prise d'eau devront être planifiées dans le cas d'une remise en service de la rigole.

A ce stade d'étude, il est supposé qu'aucune intervention sur la prise d'eau n'est nécessaire.

4.7.2 RETENUE AMONT

Il a été noté durant la visite du site que la retenue en amont du déversoir de St-Martin (en amont de la prise) est très envasée.

¹⁰ D'après l'indice EDF (source : <http://www.edf.com/i/accueil-fr/EDF-service-public/blocs/popup-co2.html>). Cet indice vaut en moyenne pour la période janvier 2007 – décembre 2007 **47,08** gramme équivalent CO₂ par kilowattheure.

Cet envasement est le résultat de la fermeture de la rigole de Condé. En effet, les eaux transitant dans ce plan d'eau sont évacuée par déversement, ce qui favorise le dépôt de sédiments en fond de retenue.

Une étude hydraulique portant sur la capacité hydraulique du réseau de cours d'eau de Châlons devra être réalisée sur la partie en amont de la prise d'eau. Cette étude permettra notamment de définir l'étendue des travaux de curage à envisager.

Au niveau de faisabilité, il est supposé que les travaux de curage à engager se limitent à la retenue en amont de la prise d'eau.

4.7.3 RIGOLE

4.7.3.1 Etat de l'ouvrage

L'ouvrage n'est plus en eau depuis 1989 et il a été envahi par la végétation qui s'est notamment développée au plafond et à proximité du niveau maintenu les derniers temps. Cette végétation récente s'ajoute à une végétation plus ancienne (arbres) que l'on retrouve notamment dans la partie en déblai du canal.

Sauf exceptionnellement à l'intérieur des courbes, les écrans Galliot ou les réparations en palplanches sont partout apparents et constituent des soutènements verticaux de 1 à 2, voire 3 m de hauteur. Ces écrans, coulés à pleine fouille, étaient à l'origine invisibles, et ils apparaissent par suite de l'érosion des têtes de talus.

Les éléments des écrans sont fréquemment non jointifs, d'autres de faible hauteur sont affouillés. Une fissure permettant le passage de l'eau s'est souvent ouverte entre le sommet des écrans et les murets de rehausse.

Les rideaux de palplanches battus en réparation ont généralement été battus devant ces écrans pour aveugler des fuites. Parfois, les écrans se sont rompus ou ont glissé dans la cuvette du canal, par insuffisance de la butée en pied. Il arrive même que les rideaux de palplanches battus en réparation soient eux-mêmes déstabilisés, voire effondrés comme en amont du pont Godart.

Les parements extérieurs des digues ne sont pas entretenus et sont envahis par la végétation. Ils sont fréquemment boisés.

Les digues semblent peu compactes et la crête est généralement très irrégulière, signe de tassements importants. Ce sentiment est d'ailleurs parfaitement corroboré par la présence de « vides » de plus de 10 cm sous les contreforts du muret de rehaussement en aval rive gauche du pont de Chaillot.

Il convient de rappeler que l'exploitation de la centrale hydroélectrique a été abandonnée à cause du mauvais état du canal d'amenée. Dès le début des années 1970, le débit a dû être réduit. Des travaux de confortement (remplacement des écrans Galliot par des rideaux de palplanches métalliques) ont été réalisés en 1971 (3 800 m² de palplanches) et en 1977 (400 m² de palplanches). Malgré ces travaux, le débit n'était que de 7 m³/s en 1979.

Au début de 1981, les travaux de remise en état du canal étaient évalués par EDF à 40 MF et l'objectif était un fonctionnement de 10 ans minimum, correspondant à la durée de vie résiduelle du matériel.

4.7.3.2 Travaux envisagés

Pour la remise en état du canal dans l'objectif de reprendre l'exploitation de la centrale, il est préconisé une solution lourde offrant toute garantie, notamment vis à vis des riverains.

L'ouverture de 15 m en tête du canal est conservée. Les digues sont abaissées d'environ 40 cm (ce qui correspond sensiblement à la situation avant le rehaussement). Le niveau

nominal correspondant au débit d'équipement est à 40 cm sous le niveau d'arase, la hauteur d'eau est de 2,20 m.

Un rideau de palplanches à froid DWU 4400 de 4,5 m de longueur assure le soutènement de la crête des digues. la cuvette est revêtue par une couche de béton bitumineux qui assure l'étanchéité, limite la végétalisation et assure une faible rugosité hydraulique.

Il est prévu d'aménager un chemin en crête de l'une des rives pour permettre la circulation des véhicules d'entretien. Les parements extérieurs des digues sont débroussaillés, déboisés et engazonnés.

Pour une section en déblai, le soutènement des crêtes, qui subit des sollicitations plus importantes, est réalisé par un rideau de palplanches PU6 de 6 m de longueur. Le revêtement de la cuvette est en béton poreux. Il limite la végétalisation, assure un faible coefficient de rugosité et évite que le revêtement ne vienne à être soulevé par les sous-pressions si le canal doit être vidé.

4.7.4 BATI DE LA CENTRALE ET EQUIPEMENTS

L'ensemble des équipements hydromécaniques (vantellerie, turbine), électromécaniques (multiplicateur à renvoi d'angle, génératrice, régulateur) et électriques (armoie de commande, câblerie) doivent être remplacés.

Le choix de la turbine la mieux adaptée à un site donné dépend principalement de la hauteur de chute nette disponible. Pour le site de Condé-sur-Marne où la chute brute est de 6,5 m environ, la turbine la mieux adaptée est la turbine Kaplan. Différentes configurations de cette machine peuvent cependant être envisagées, comme l'illustrent les schémas de la Figure 39.

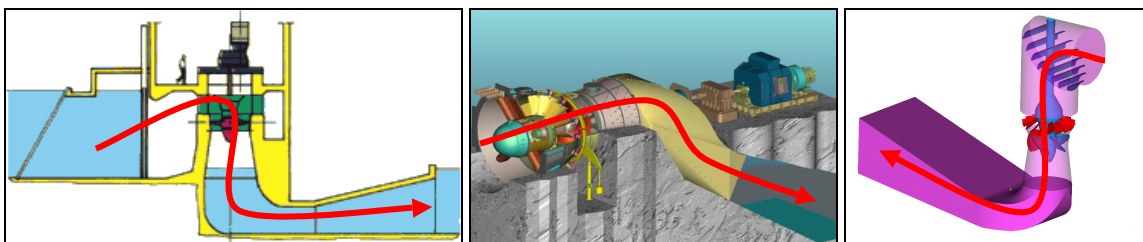


Figure 39 : Configurations de turbines Kaplan envisageables pour le site de Condé-sur-Marne : a) Kaplan fronto-spirale, b) Kaplan S avec multiplicateur et génératrice, c) Kaplan SAXO

Le choix de la meilleure configuration doit tenir compte :

- des travaux de génie civil (excavation, démolitions et constructions) associés à la configuration de la turbine et qui dépendent notamment :
 - des caractéristiques spécifiques du site (accès, caractéristiques topographiques et géotechniques du sol, etc.),
 - de la hauteur d'aspiration de la turbine pour les conditions d'utilisation du site,
 - des caractéristiques des structures existantes.
- du coût de la turbine et de ses équipements associés (génératrice, multiplicateur),
- de l'adaptation de la turbine aux variations de débit et de chute, c'est-à-dire de sa colline de rendement¹¹ spécifique.

¹¹ Cette caractéristique doit évidemment être rapportée aux caractéristiques du site vues plus haut : hydrologie, effacement de la chute brute, possibilités de production en fonction des contraintes environnementales.

Au vu de la configuration des structures encore en place, et notamment de la forme du manteau de roue et de la disposition des multiplicateurs et des génératrices, il semblerait que les anciennes turbines aient été des Kaplan à axe vertical (configuration fronto-spirale) avec multiplicateur à renvoi d'angle.

Cette technologie fiable et bien maîtrisée est encore aujourd'hui très largement utilisée, et un remplacement des équipements à section égale peut donc être envisagé (figure ci-dessous). Ce choix permet de réduire au minimum les travaux de génie civil pour l'adaptation du bâti aux nouveaux équipements qui consisteront principalement à renforcer la structure existante et l'adapter aux nouveaux équipements, notamment au niveau du distributeur et du capot de la turbine.

L'ensemble des équipements mécaniques (multiplicateurs, axes) et électriques (alternateurs, armoires, cellules, tableaux de commande) présents dans la centrale devront être évacués.

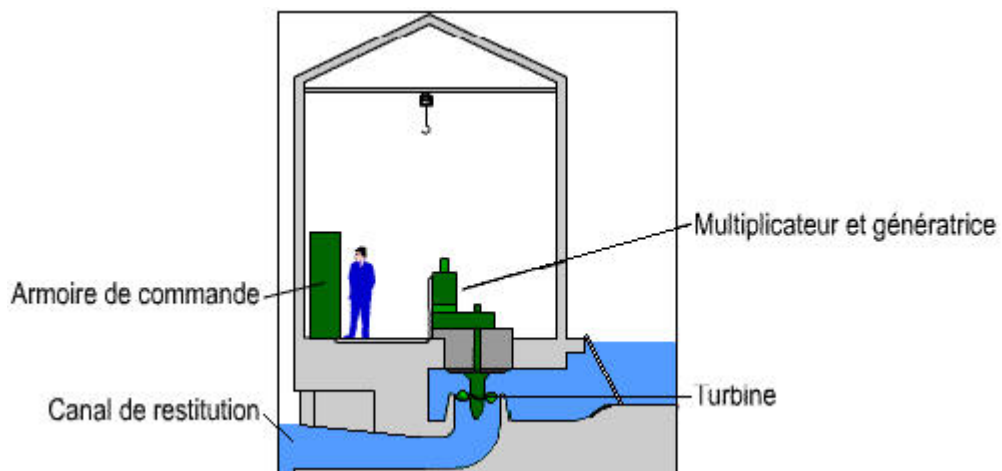


Figure 40 : Coupe schématique de la centrale hydroélectrique de Condé-sur-Marne en configuration Kaplan fronto-spirale



Figure 41 : Multiplicateur et génératrice

Il est précisé cependant que d'autres configurations, telle que la solution type S illustrée sur la Figure 39, peuvent également être envisagées mais nécessiteraient des travaux d'adaptation du génie civil plus importants.

Le diamètre approximatif des turbines est de 1,1 m et pour une vitesse de rotation estimée à 300 t/min environ.

4.8 COUTS DE RENOVATION

Dans le cadre de l'étude « *Révision du schéma directeur de Châlons-sur-Marne - Etude technico-économique du canal de Condé* » réalisée en 1997, ISL a donné une évaluation du coût de remise en état de la rigole de Condé : 180 MF pour rétablir un débit de 20 m³/s en toute sécurité dans la rigole.

4.8.1 CENTRALE

La remise en état de la centrale elle-même, le remplacement des turbines, l'équipement hydromécanique (clapet de décharge, dégrilleur, rénovation des ouvrages de prise) est évalué à **4 115 k€**.

Le tableau ci-dessous présente un chiffrage détaillé de la centrale.

Groupes turbines 4 groupes Kaplan de 245 kW (multiplicateurs et alternateurs compris)	1 350 000 €
Équipements électriques Armoires électriques, télégestion, cellules	750 000 €
Rénovation des équipements hydromécaniques Grilles, dégrilleur et Vannes	165 000 €
Raccordement	150 000 €
Travaux de Génie civil Dépose des équipements existants, démolitions, ouvrages en béton armé, finitions, pont roulant	1 700 000 €

Tableau 11 : Décomposition des prix de la centrale de Condé

4.8.2 RIGOLE

Les tableaux ci-dessous donnent le détail de l'évaluation du coût au mètre linéaire pour une section type en remblai et une section type en déblai.

Section en remblai, prix au ml de canal

Désignation	U.	Quantité	Prix unitaire (€)	Coût (€)
Débroussaillage et décapage	m ²	30	5	150
Abattage et dessouchage arbre	u	0,5	118	59
Démolition et évacuation écran Galliot	m ³	1,2	158	190
Fourniture palplanches DWU 4400	kg	360	1,2	432
Mise en fiche palplanches DWU 4400	ml	2	100	200
Battage palplanches DWU 4400	m ²	9	39	351
Préparation forme cuvette et crêtes	m ²	21,5	14	301
Gravillons imprégnés en cuvette	m ²	15,5	19	295
Béton en cuvette	m ²	15,5	49	760
Empierrement chemin crête 1 rive	m ²	3	10	30
Engazonnement parements digues	m ²	11.5	6	69
Total H.T.				2 840

Section en déblai, prix au ml de canal

Désignation	U.	Quantité	Prix unitaire (€)	Coût (€)
Débroussaillage et décapage	m ²	25	5	125
Abattage et dessouchage arbre	u	0,5	118	59
Démolition et évacuation écran Galliot	m ³	1,2	158	190
Fourniture palplanches PU6	kg	900	1,2	1080
Mise en fiche palplanches PU6	ml	2	100	200
Battage palplanches PU6	m ²	12	39	468
Préparation forme cuvette et crêtes	m ²	21,5	14	301
Béton poreux en cuvette	m ²	15,5	39	605
Empierrement chemin crête 1 rive	m ²	3	10	30
Engazonnement parements digues	m ²	6.5	6	39
Total H.T.				3 096

En comptant 100 % des 10 500 m de section en remblai et 50 % des 3 500 m de section en déblai à restaurer, le coût de remise en état est de :

$$10\,500 \times 2\,840 + 1\,750 \times 3\,096 = \mathbf{35\,240\,000\,€}$$

Le tableau ci-dessous présente les investissements financiers nécessaires à la remise en service de l'usine de Condé-sur-Marne.

Génie civil (rigole et usine)	36 940 000 €
Équipements électromécaniques	2 420 000 €
Total avec aléas	43 290 000 €
Ingénierie	2 000 000 €
Total	45 290 000 €

Tableau 12 : Décomposition des prix du projet de Condé

4.9 ANALYSE FINANCIERE

4.9.1 PRIX DE VENTE DE L'ELECTRICITE

L'arrêté du 01 mars 2007 fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les nouvelles installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, cours d'eau et mers, telles que visées au 1^{er} article du décret n°2000-1196 du 6 décembre 2000 (en l'occurrence, pour les installations utilisant l'énergie hydraulique, la puissance installée doit être inférieure ou égale à 12 MW). Le contrat est signé pour une durée de 20 ans.

Les coûts d'investissement liés aux scénarii étudiés étant supérieurs à 1000 €/kW, le projet sera considéré mis en service après le 01 mars 2007 et les tarifs fixés par l'arrêté du 01 mars 2007 pourront donc être appliqués.

4.9.2 RECETTE BRUTE ET NETTE

La **recette brute** est déterminée à partir de la production moyenne annuelle (chapitre 4.6.2.2) et du prix de vente de l'énergie (chapitre 4.9.1), y compris l'éventuelle prime de majoration permise par une certaine régularité de la production pendant les mois de décembre, janvier et février.

La **recette nette** est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$\begin{aligned} \text{Recette nette [€/an]} &= \text{Energie vendue [kWh/an]} \\ &\times \text{Prix de vente [€/kWh]} \\ &\times \text{Taux de disponibilité des machines [-]} \\ &- \text{Frais de fonctionnement [€/an]}. \end{aligned}$$

Les calculs montrent qu'un **tarif à une composante est plus avantageux** pour le site de Condé-sur-Marne. Les recettes brute et nette, calculées sur la base des tarifs de vente de l'énergie (tarifs de l'annexe 1 de l'arrêté du 01 mars 2007, applicables aux nouvelles installations) sont les suivantes.

Prix de vente moyen annuel	9,25 c€/kWh
Dont prime de régularité en hiver	0,87 c€/kWh
Recette brute	543 000 €
Recette nette	489 000 €

Tableau 13 : Recette de l'aménagement de Condé

4.9.3 CARACTERISTIQUES FINANCIERES DU PROJET

L'analyse financière consiste à extraire les paramètres pertinents (taux de rentabilité interne, bénéfice net actualisé, prix de revient, etc.) du cahier d'exploitation de l'aménagement, élaboré sur la base des hypothèses financières listées ci-après.

4.9.3.1 Paramètres de l'analyse financière

- Prix de vente contractuel moyen de l'énergie (contrat d'achat) y compris la prime de régularité et certificat vert dépendant des tarifs de l'arrêté du 01 mars 2007 sur une durée de 20 ans (puis prix estimé à environ 0,07 €/kWh)
- Taux d'indisponibilité des machines (pannes et maintenances) : 5 % du temps (arrêts de production relative à la maintenance et aux pannes)

- Coût de fonctionnement pour l'exploitation d'un seul site : 10 % de la recette brute (frais de personnel, maintenance préventive et fourniture liée à l'exploitation, taxe professionnelle et taxe hydraulique)
- Durée de construction : 1 an
- Durée de vie du génie civil / équipements électromécaniques : 50 ans / 25 ans
- Emprunt : 80 % du coût total sur **20 ans**, taux d'intérêt de **4,5 %**
- Impôts : 33 % (prise en compte du déficit reportable des premières années et de la dotation aux amortissements)
- Taux d'actualisation nominal : 6 %
- Taux d'inflation : 2 %
- Taux d'inflation du coût de l'énergie : 2 %
- TVA : 19,6 % (il est supposé une récupération de la TVA par l'exploitant)

4.9.3.2 Résultats de l'analyse financière

Les principaux résultats financiers sont regroupés dans le tableau et la figure ci-après.

Recette brute annuelle	543 000 €
Coûts d'investissement HT	43 290 000 €
Taux de rentabilité interne (TRI)	-
Bénéfice net actualisé (BNA)	- 33 580 000 €
Taux d'enrichissement en capital (TEC)	-74,1%
Temps de retour brut	90 ans
Temps de retour actualisé	-
Prix de revient	36,35 c€/kWh

Tableau 14 : Principaux résultats financiers du projet de Condé

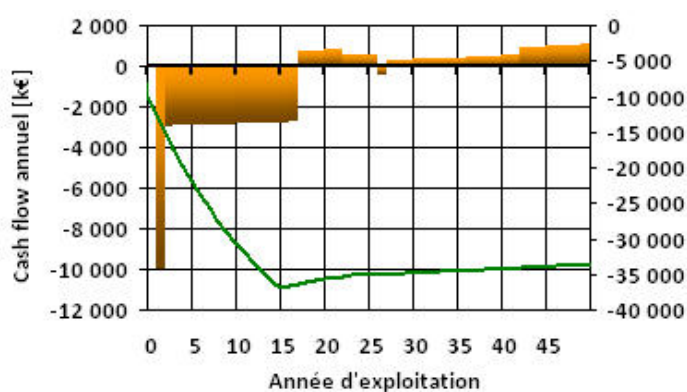


Figure 42 : Courbe des flux financiers pour le projet de Condé

Les résultats de l'analyse financière présentée ci-dessus montrent que le projet tel qu'il a été envisagé est largement déficitaire.

4.10 SOLUTIONS ALTERNATIVES

4.10.1 MISE EN PLACE DE BUSES SOUS REMBLAIS

Cette solution a été évoquée par le Comité de suivi de l'étude. Elle consiste à mettre en place des buses en fond de rigole sur une partie ou la totalité de la rigole pour transférer les débits de la Marne à l'usine de Condé.

Cette solution n'apparaît pas rentable en première approche en raison des pertes de charges induites par l'écoulement dans les buses et de l'investissement important inhérent à cette solution.

Il est néanmoins possible d'estimer de façon sommaire les pertes de charges et l'investissement financier nécessaire afin discuter la rentabilité de cette solution.

4.10.1.1 Pertes de charge

La solution étudiée est présentée sur la figure ci-dessous.

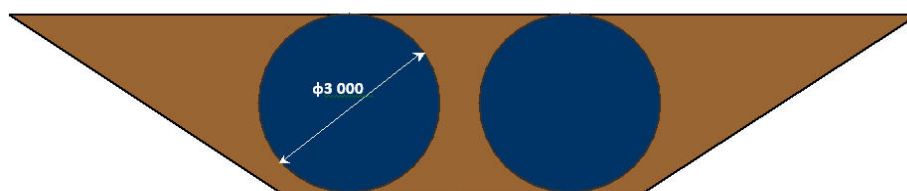


Figure 43 : Représentation schématique de l'implantation des buses

Plusieurs calculs de pertes de charge ont été réalisés en fonction du nombre de conduites et de leurs diamètres.

Il ressort de ces calculs que, compte tenu de la longueur de la rigole, les pertes de charges sont au minimum égales à 3,9 m pour une configuration à deux buses de diamètre 3 m correspondant à la taille maximum admissible dans la rigole, soit environ 60% de la chute au droit de l'usine de Condé.

4.10.1.2 Investissement

Bien que les conduites proposées soient des tubes PE pour réseaux gravitaires enterrés, le prix de fourniture, transport et mise en œuvre de deux tuyaux parallèles $\phi 3000$ avoisine 6 000 €/ml. A ce coût s'ajoute celui du remblaiement qui est estimé à 350 €/ml.

Soit un coût total d'environ 6 300 €/ml.

4.10.1.3 Analyse de rentabilité

Cette solution présente une rentabilité inférieure à celle obtenue avec réhabilitation de la rigole (temps de retour brut > 100 ans).

En effet, cette solution présente un coût d'investissement largement supérieur à celui de la solution précédemment étudiée et une production (recette) inférieure (40% de celle estimée pour la réhabilitation du canal).

La mise en place de buses en fond de rigole n'est donc pas rentable.

4.10.2 UTILISATION PARTIELLE DU CANAL

Le comité de pilotage de l'étude a évoqué la possibilité d'utiliser une partie du canal et d'implanter une nouvelle centrale en rive gauche de la rigole.

Cette solution semble difficilement réalisable sans engager de lourds travaux.

Les 3 principaux postes de travaux pour une production hydroélectrique sont les suivants :

- Le canal d'amenée ;
- La centrale (ou un local dans les cas des turbines immergées) ;
- Le canal de restitution.

La solution initialement étudiée présente l'avantage de réutiliser l'usine de Condé et donc de réduire le poids du poste usine mais la réhabilitation des 14 km de rigole diminue la rentabilité du projet.

Le choix d'une utilisation partielle (en partie) de la rigole semble a priori cohérent pour diminuer l'investissement.

Or, deux contraintes sont à noter :

- La chute disponible sera inversement proportionnelle à la longueur de rigole utilisée ;
- la rigole de Condé se situe à une distance minimum de 600 m de la Marne où doivent être restituées les eaux turbinées : nécessité de disposer d'un passage sous le canal et d'un fossé pour rejoindre la Marne après le turbinage.

Compte-tenu de ces contraintes deux variantes peuvent être évoquées.

4.10.2.1 Centrale à Juvigny

L'implantation d'une centrale sur la commune de Juvigny et l'utilisation de la Gravelotte pour restituer les débits de la Marne permet de réduire le linéaire de rigole utilisé.

La longueur de rigole utilisée et sur laquelle les travaux listés au paragraphe 4.7.3 sont à engager est de 8 km. Des travaux sur le lit de la Gravelotte devront également être envisagés afin d'augmenter sa capacité.

La différence de niveau entre la rigole et la Gravelotte à Juvigny est estimée à 4 m.

Compte-tenu du volume de travaux à engager (construction d'une nouvelle usine, réfection de la rigole sur 8 km, travaux sur le lit de Gravelotte) ainsi que la perte de chute et la limitation de débit engendrées par cette solution, cette dernière n'est pas jugée intéressante (temps de retour brut sur investissement d'environ 120 ans).

4.10.2.2 Exploitation de la chute de St-Martin

L'implantation d'une centrale à proximité du déversoir de St-Martin présente l'avantage de ne pas faire appel à la rigole de Condé.

Néanmoins, cette solution nécessite la construction d'une centrale entre le canal latéral et la Marne, d'une prise d'eau et la mise en place d'un dispositif pour le franchissement du canal latéral (buses par exemple).

De plus, la chute créée par le déversoir St-Martin est estimée à 2,3 m en étiage.

Cette solution nécessite donc des travaux relativement lourds pour une puissance installée d'environ 350 kW.

Le temps de retour brut sur investissement est estimé à 50 ans pour cette solution.

L'utilisation partielle de la rigole de Condé n'est donc pas financièrement intéressante.

4.11 CONCLUSION SUR SITE DE CONDE

Cette section résume l'étude de faisabilité pour la réhabilitation de la centrale hydroélectrique de Condé-sur-Marne dans le département de la Marne, à l'arrêt depuis plus de 20 ans.

Plusieurs solutions ont été étudiées pour ce site prenant en compte le potentiel des structures existantes, Ichtyophilie et la réglementation en vigueur.

Une variante principale de réhabilitation a été étudiée, elle consistait en le réaménagement du site existant à l'identique. D'autres solutions telles que la mise en place de buses en fond de cuve ou l'exploitation partielle de la rigole.

Aucune des solutions étudiées n'a été jugée financièrement intéressante, **la remise en service de l'usine de Condé-sur-Marne n'est pas économiquement rentable.**

Durant les visites de sites, il a été noté que la retenue en amont du déversoir St-Martin était fortement envasée. La question d'envasement du réseau Châlonnais, notamment celui du Mau et du Nau, a été abordée durant les réunions d'avancement.

Les origines de cet envasement ainsi que les solutions envisageables pourront être définie par une étude spécifique couvrant l'ensemble du réseau. Il semble néanmoins évident que la fermeture de rigole de Condé intervenue en 1989, qui drainait 6 à 8 m³/s (20 m³/s initialement), conjuguée à la présence d'un déversoir en bout de réseau a fortement favorisé le dépôt de sédiments en fond de lit.

Une solution consisterait à ouvrir partiellement les vannes de fond se trouvant sur l'ouvrage de St-Martin afin d'évacuer un débit plus important et ainsi freiner l'envasement du réseau.

Il est précisé que l'ouverture des vannes ne pourra servir à évacuer les vases présentes en fond. Un curage devra être réalisé avant leur ouverture afin de limiter le transport de sédiments vers l'aval.

Il est préférable de définir une solution en collaboration avec le gestionnaire et l'administration compétente afin de limiter l'impact de celle-ci.

5 ANNEXES

Annexe A : Glossaire

BNH	Banque nationale Hydro
S_{BV}	Surface de bassin versant d'un cours d'eau
Q_{classés}	Débits classés. Sur une période de mesure, les débits enregistrés sont classés suivant leur fréquence d'apparition dans le temps exprimée en %.
Q_{MNA}	Débit mensuel d'étiage atteint par un cours d'eau pour une année donnée
Q_j	Débit journalier
H_b	Hauteur de chute brute
PMB	Puissance maximale brute
Q_e	Débit d'équipement ou débit maximum pouvant être exploité par une turbine
Q_r	Débit réservé au droit d'un ouvrage ou d'une déviation
GES	Gaz à effet de serre, généralement exprimés en équivalent CO ₂
MT	Réseau moyenne tension
TRI	Taux de rentabilité interne, taux d'actualisation qui annule le BNA
BNA	Bénéfice net actualisé à la fin de vie du projet
TEC	Taux d'enrichissement en capital, rapport du bénéfice à l'investissement initial

Annexe B : ARRETE DU 01 MARS 2007

Article 1 Le présent arrêté fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, cours d'eau et mers, telles que visées au 1° de l'article 2 du décret du 6 décembre 2000 susvisé. Ces installations sont de deux types :

1. Les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs et cours d'eau ;
2. Les installations utilisant l'énergie houlomotrice, marémotrice ou hydrocinétique.

L'électricité produite à partir de systèmes de stockage nécessitant de l'énergie pour leur remplissage ne bénéficie pas de l'obligation d'achat.

Article 2 L'installation du producteur est décrite dans le contrat d'achat, qui précise ses caractéristiques principales :

1. Nombre et type de générateurs ;
2. Puissance maximale installée ;
3. Puissance active maximale de fourniture (puissance maximale produite par l'installation et fournie à l'acheteur) et, le cas échéant, puissance active maximale d'autoconsommation (puissance maximale produite par l'installation et consommée par le producteur pour ses besoins propres) ;
4. Productibilité moyenne annuelle estimée (quantité d'énergie que l'installation est susceptible de produire en moyenne sur une période d'un an) ;
5. Fourniture moyenne annuelle estimée (quantité d'énergie que le producteur est susceptible de fournir à l'acheteur en moyenne sur une période d'un an) et, le cas échéant, autoconsommation moyenne annuelle estimée (quantité d'énergie que le producteur est susceptible de consommer pour ses besoins propres en moyenne sur une période d'un an) ;
6. Point de livraison ;
7. Tension de livraison.

Article 3 L'hiver tarifaire est compris entre le 1er novembre et le 31 mars. L'été tarifaire est compris entre le 1er avril et le 31 octobre. Toutefois, en Corse, l'hiver tarifaire est compris entre le 1er novembre et le dernier jour de février. L'été tarifaire est compris entre le 1er mars et le 31 octobre.

Les heures creuses correspondent aux heures comprises entre 22 heures et 6 heures (entre 23 heures et 7 heures pendant la période d'été où l'heure légale est décalée d'une heure) et à toute la journée du dimanche.

Les heures de pointe comprennent 2 heures le matin et 2 heures le soir, correspondant aux heures de pointe du tarif Vert A5 Base, tous les jours sauf le dimanche, de décembre à février inclus.

En métropole, un producteur bénéficie, selon son choix, d'une tarification à une, deux, quatre ou cinq composantes. Un producteur situé hors de la métropole bénéficie d'une tarification à une composante.

Article 4 La date de demande complète de contrat d'achat par le producteur détermine les tarifs applicables à une installation. Cette demande est considérée comme étant complète lorsqu'elle comporte la copie de la lettre de notification mentionnée à l'article R. 421-12 du code de l'urbanisme, lorsqu'un permis de construire est nécessaire, ainsi que les éléments définis à l'article 2 du présent arrêté.

Si la demande complète de contrat est effectuée en 2007, les tarifs applicables sont ceux de l'annexe du présent arrêté.

Si la demande complète de contrat d'achat est effectuée après le 31 décembre 2007, les tarifs applicables sont ceux de l'annexe du présent arrêté indexés au 1er janvier de l'année de la demande par application du coefficient K.

Article 5 Peut bénéficier d'un contrat aux tarifs définis dans les conditions indiquées à l'article 4 ci-dessus, dans la mesure où elle respecte à la date de signature du contrat les conditions des décrets du 6 décembre 2000 et du 10 mai 2001 susvisés, une installation :

1. Mise en service pour la première fois après la date de publication du présent arrêté et dont les organes fondamentaux (générateurs) n'ont jamais produit d'électricité à des fins d'autoconsommation ou dans le cadre d'un contrat commercial. Le contrat est alors conclu pour une durée de 20 ans à compter de la mise en service industrielle de l'installation. Cette mise en service doit avoir lieu dans un délai de 4 ans à compter de la date de demande complète de contrat par le producteur. En cas de dépassement de ce délai, la durée du contrat est réduite d'autant ;

2. Dont la puissance maximale installée et la productibilité moyenne annuelle estimée sont augmentées de plus de 10 %. Un contrat additionnel est alors conclu pour une durée de 20 ans à compter de la mise en service industrielle de l'installation modifiée pour les kWh supplémentaires produits, calculés mensuellement et selon la même saisonnalité que le contrat initial selon la formule suivante :

$$[(\text{Puissance finale} - \text{Puissance initiale}) / \text{Puissance finale}] \times \text{nombre total de kWh produits.}$$

Le tarif appliqué jusqu'au terme du contrat additionnel à ces kWh supplémentaires est celui qui serait appliqué à une installation dont la puissance correspondrait à la puissance finale.

Article 6 Un producteur, qui a déposé une demande complète de contrat d'achat sur la base de l'arrêté du 25 juin 2001 modifié fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, cours d'eau et mers pour une installation dont la mise en service n'est pas intervenue à la date de publication du présent arrêté, peut déposer une nouvelle demande de contrat d'achat sur la base du présent arrêté. Cette dernière demande annule et remplace la précédente demande.

Article 7 Une installation mise en service avant la date de publication du présent arrêté, ou qui a déjà produit de l'électricité à des fins d'autoconsommation ou dans le cadre d'un contrat commercial, et qui n'a jamais bénéficié de l'obligation d'achat peut bénéficier d'un contrat d'achat aux tarifs définis dans les conditions indiquées à l'article 4 ci-dessus et multipliés par le coefficient S défini ci-après :

$S = (20 - N)/20$ si N est inférieur à 20 ans ;

$S = 1/20$ si N est supérieur ou égal à 20 ans,

où N est le nombre d'années, entières ou partielles, comprises entre la date de mise en service de l'installation et la date de signature du contrat d'achat.

Le producteur fournit à l'acheteur une attestation sur l'honneur précisant la date de mise en service de l'installation. Le producteur tient les justificatifs correspondants (factures d'achat des composants, contrats d'achat, factures correspondant à l'électricité produite depuis la mise en service) à la disposition de l'acheteur.

Article 8 Chaque contrat comporte les dispositions relatives à l'indexation des tarifs qui lui sont applicables. Cette indexation s'effectue annuellement au 1er novembre par l'application du coefficient L.

ANNEXES DE L'ARRETE

Annexe 1 : Tarifs mentionnés à l'article 3 de l'arrêté

L'énergie électrique active fournie par le producteur est facturée à l'acheteur sur la base des tarifs ci-dessous, exprimés en cEUR/kWh hors TVA. Ils peuvent inclure une prime pour les petites installations, appelée MP, ainsi qu'une majoration de qualité appelée MQ.

I. - Pour les installations visées au 2° de l'article 1er, le tarif applicable à l'énergie active fournie est égal à 15 cEUR/kWh.

II. - Pour les installations visées au 1° de l'article 1^{er}, le tarif applicable à l'énergie fournie est égal à :

$$T + MP + MQ$$

Formule dans laquelle :

- T est le tarif de référence, défini conformément au tableau ci-dessous ;

- **MP** est la prime pour les petites installations, calculée en fonction de la puissance maximale installée P, et définie conformément au tableau ci-dessous ;
- **MQ** est la majoration de qualité, attribuée en fonction de la régularité de la chute, calculée selon les principes et modalités définis au III de la présente annexe.

		Tarif T	Prime MP (c€/kWh)		
			P < 400 kW	600 kW < P < 2 500 kVA	P > 3 000 kW
Tarif à une composante	-	6,07	2,5	0,5	0
Tarif à deux composantes	Hiver	8,38	3,45	0,69	0
	Été	4,43	1,82	0,36	0
Tarif à quatre composantes	Hiver pleines	10,19	4,20	0,84	0
	Hiver creuses	5,95	2,45	0,49	0
	Été pleines	4,55	1,87	0,37	0
	Été creuses	5,25	1,75	0,35	0
Tarif à cinq composantes	Hiver pointe	17,72	7,30	1,46	0
	Hiver pleines	8,92	3,67	0,73	0
	Hiver creuses	5,95	2,45	0,49	0
	Été pleines	4,55	1,87	0,37	0
	Été creuses	4,25	1,75	0,35	0
Pour les départements d'outre-mer, dans la collectivité territoriale de Saint-Pièrre-et-Miquelon et à Mayotte					
		9	2,50	0,50	0

Tableau 15 : Caractéristiques techniques et financières du projet

Pour la prime MP, les valeurs intermédiaires sont obtenues par interpolation linéaire.

Annexe 2 : Majoration de qualité

1. Les principes

1.1. En métropole, une majoration MQ, fixée au contrat d'achat pour une durée de cinq ans et révisable à la demande de l'une ou l'autre des parties à la fin de chaque période de cinq ans, est appliquée en hiver en fonction de la régularité interannuelle de la chute.

Cette régularité est évaluée à partir des productions mensuelles totales des années antérieurement connues, prises consécutivement jusqu'à concurrence de quinze ans.

Un coefficient d'irrégularité est calculé pour les mois d'hiver. Sa valeur permet de calculer un taux, qui, appliqué à la majoration maximum, donne la valeur de la majoration de qualité effective.

1.2. Les productions retenues peuvent être corrigées des défaillances imputables soit à des accidents survenus au matériel ou aux ouvrages de génie civil, soit à des arrêts d'entretien normal, dont l'époque et la durée ont été décidées en accord avec l'acheteur.

En outre, pour le calcul des coefficients d'irrégularité, seront éliminés, jusqu'à concurrence de 10 % du nombre total des mois pris en compte (ce nombre total de mois sera si besoin arrondi à l'entier supérieur le plus proche), ceux dont la production a été la plus faible.

1.3. Dans les cas suivants : création d'une nouvelle centrale, augmentation de la puissance des groupes d'une centrale existante, ou modification significative du mode d'exploitation (changement des débits réservés...), la détermination des taux de majoration de qualité au titre des cinq premières années d'exploitation se fait selon les modalités suivantes :

- pour les cinq premières années, le producteur annonce à l'acheteur la fraction de la majoration maximum qu'il estime pouvoir tenir ;
- cette valeur est appliquée les cinq premières années.

A la fin de la cinquième année, les taux réels sont calculés au vu des productions des cinq premières années d'exploitation de la centrale. Une régularisation est alors effectuée sur les cinq années qui viennent de s'écouler à partir de la formule suivante :

$$F = PH \times tH \times LH$$

F : somme à rembourser à l'acheteur ou au producteur.

PH : majoration de qualité maximum (en cEUR/kWh) aux conditions économiques en vigueur au moment de la régularisation.

tH : écart entre le taux de majoration calculé à la fin de la période de cinq ans et celui annoncé par le producteur.

LH : livraisons faites en hiver par le producteur au cours des cinq premières années.

Le taux calculé à la fin des cinq premières années est appliqué pour les cinq années suivantes.

A l'issue des dix premières années, un calcul identique à celui de la fin de la cinquième année est effectué à partir des productions observées pendant les dix années précédentes. Le pourcentage de majoration de qualité maximum nouvellement calculé devient la référence pour les cinq années suivantes.

Par contre, aucune régularisation financière de majoration de qualité n'est effectuée sur les cinq années écoulées.

1.4. Dans les départements d'outre-mer et la collectivité territoriale de Saint-Pierre-et-Miquelon, les principes sont identiques mais la majoration de qualité effective est attribuée en été et en hiver.

2. Calcul de la majoration de qualité

Sont considérés en hiver les seuls mois de décembre, janvier et février, soit 3 x n mois pour la période des n années retenues.

Comme prévu au paragraphe 1.2 de la présente annexe, un nombre de mois m peut être éliminé jusqu'à concurrence de 10 % du nombre total des mois pris en compte.

La production moyenne Pmoy est le quotient par (3 n - m) de la somme des productions des (3 n - m) mois en cause.

La production Pmax est la plus élevée des (3 n - m) productions mensuelles et la production minimum Pmin la plus faible.

Les coefficients d'irrégularité sont calculés comme suit :

$$I1 = (Pmax - Pmoy) / Pmoy$$

$$I2 = (Pmoy - Pmin) / Pmoy$$

En hiver, les défaillances prolongées étant beaucoup plus désavantageuses, le coefficient d'irrégularité pris est :

$$I = (I1 + 3 I2) / 4$$

La chute ayant un coefficient I supérieur à 70 % ne donne droit à aucune majoration.

La chute ayant un coefficient I égal à 50 % est considérée comme une chute moyenne, donnant droit à une majoration égale à la moitié du maximum prévu.

La chute ayant un coefficient I inférieur à 20 % est considérée comme une très bonne chute, donnant droit à la majoration maximum.

Les valeurs intermédiaires sont obtenues par interpolation linéaire.

En cas de suspension du contrat dans le cadre de la loi n° 84-512 sur la pêche en eau douce, le calcul de la majoration de qualité est repris pour tenir compte des conditions réelles de production après redémarrage de la centrale.

3. Valeur de la majoration de qualité maximale

La majoration de qualité maximale, exprimée en cEUR/kWh hors TVA, est égale à 1,68 cEUR/kWh. Cette valeur est indexée au 1er janvier de l'année de la demande de contrat d'achat par application du coefficient K défini à l'article 4 du présent arrêté.

Le contrat précise le pourcentage de la majoration de qualité maximale attribuée à l'installation du producteur pour chaque période quinquennale prévue.

Annexe C : ARRETE DU 16 OCTOBRE 1971