

# La turbine de Très Basses Chute ou VLH (pour Very Low Head Turbo-Generator)

Marc LECLERC

Gérant

**MJ2 TECHNOLOGIES S.A.R.L.**

## **RESUME**

*De leurs expériences respectives dans les petites centrales hydroélectriques, les trois membres fondateurs de MJ2 Technologies sont parvenus à la même conclusion quant aux énergies renouvelables et particulièrement au sujet du développement des petites centrales hydroélectriques.*

*Le dernier grand gisement disponible est la quantité considérable de sites de très basse chute abandonnés au fil des principales rivières. Des milliers de sites ne sont pas utilisés dans les pays développés car aucun fabricant n'a pu concevoir un groupe turbo générateur qui optimise la globalité de l'investissement et permette d'atteindre un coût au kW installé raisonnable.*

*L'objectif du projet VLH est de concevoir, tester scientifiquement et fabriquer un groupe turbo générateur compact qui permettent la mise en valeur des sites hydroélectriques de très basse chute avec un taux de retour sur investissement compétitive. Nous avons maintenant atteint le stade industriel de notre projet. Les activités de R&D sont finalisées, nous fabriquons le premier prototype, une VLH de 450 kW aux bornes de l'alternateur, sous 2,5 m de chute avec une roue de turbine de 4500 mm de diamètre.*

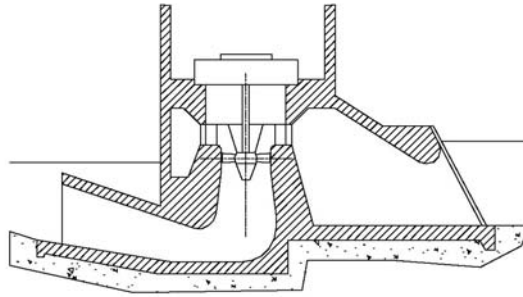
## **1 Etat de l'art, pourquoi les technologies existantes ne fonctionnent pas pour les très basses chutes?**

La tendance générale depuis le dépôt du dernier brevet significatif avant le notre, celui de Kaplan dans les années 20, a toujours été de réduire la taille de la turbine. L'objectif est de réduire le poids de ses éléments et par conséquent le coût de la machine. Cette orientation générale de la recherche a conduit à des machines de performances excellentes avec des vitesses de rotation élevées, qui utilisent des roues de diamètre réduit. Techniquement, l'évolution a été extrêmement efficace, on a atteint des résultats spectaculaires, mais cette évolution n'est efficace que pour les sites importants dont la capacité de production permet d'amortir des coûts d'investissements élevés. En fait, même si techniquement il est parfaitement possible de produire au dessous de 2 m de chute brute (l'usine marée motrice de La Rance en est un bel exemple) cela reste un exception.

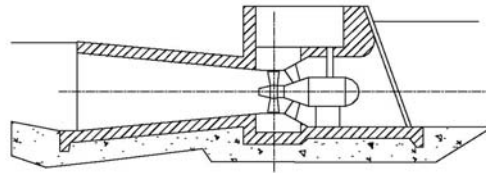
La course vers des machines plus petites et plus rapide implique une augmentation exponentielle des vitesses de traversée de l'eau à travers la roue de la turbine. Plus la chute est faible plus **il est essentiel de l'optimiser et de minimiser les pertes de charges et les pertes de productions qu'elles induisent.**

Pour ces raisons une turbine moderne de très basses chutes (de 1,5 à 2,5 m de chute nette) demande une énorme infrastructure de génie civil en amont et en aval de la turbine pour minimiser les pertes de charges et par conséquent sont rendement global. (voir croquis comparatifs plus bas). De plus, considérant que ces chutes ne représentent un investissement économiquement attrayant que lorsqu'elles sont situées sur des rivières à débits élevés ; le génie civil doit être réalisé dans des conditions difficiles et dans un environnement complexe.

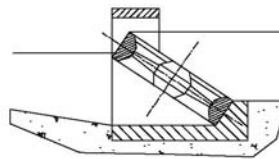
**Kaplan Verticale en Siphon**



**Groupe Bulbe**



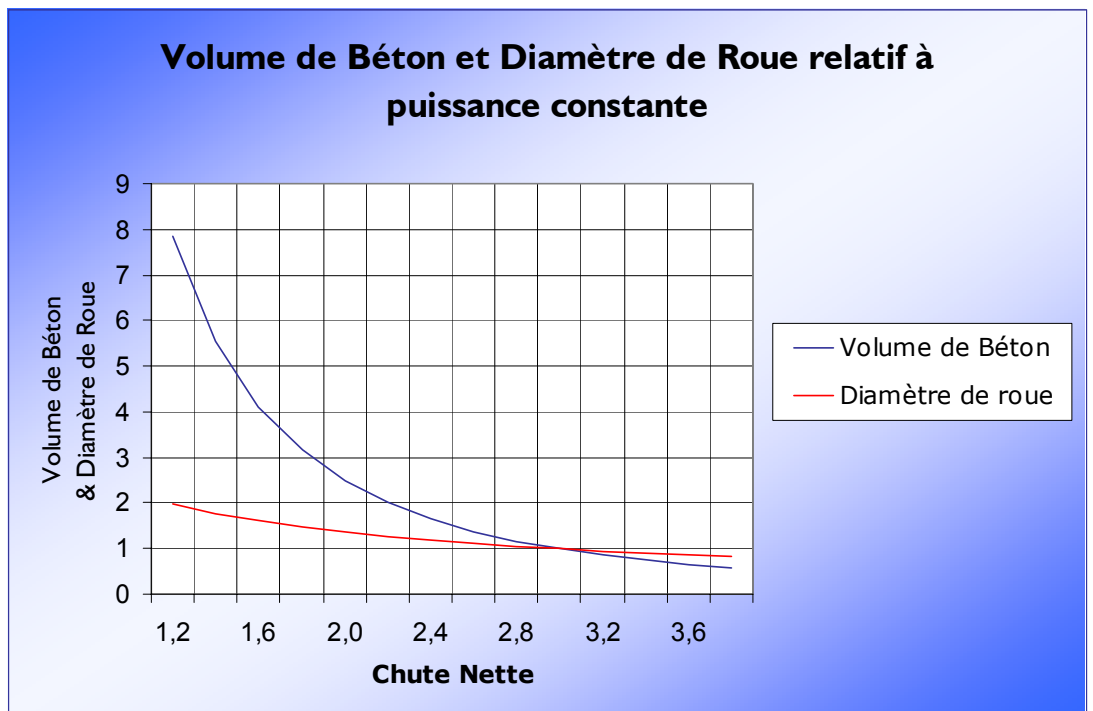
**Groupe turbo générateur Very Low Head**



Les trois exemples ci dessus utilisent le même débit et la même chute et son dessinés à l'échelle. Ils respectent les diamètres de roues et les dimensions des ouvrages de génie civil pour des caractéristiques de chute et débit identiques. L'étendue et la complexité des travaux de génie civil dans chaque cas sont évidentes.

Une étude statistique et mathématique réalisée sur la base de centaines de sites de basse chute démontre qu'il y a un lien direct entre la réduction de la chute et l'augmentation des volumes de béton nécessaires.

Le résultat est que considérant une puissance constante, si la chute passé de 3 m à 1,5 m le volume de béton correspondent est multiplié par 5, tandis que le diamètre de la roué double.



C'est la raison pour laquelle les très basses chutes sont techniquement réalisables mais ne sont pas rentables.

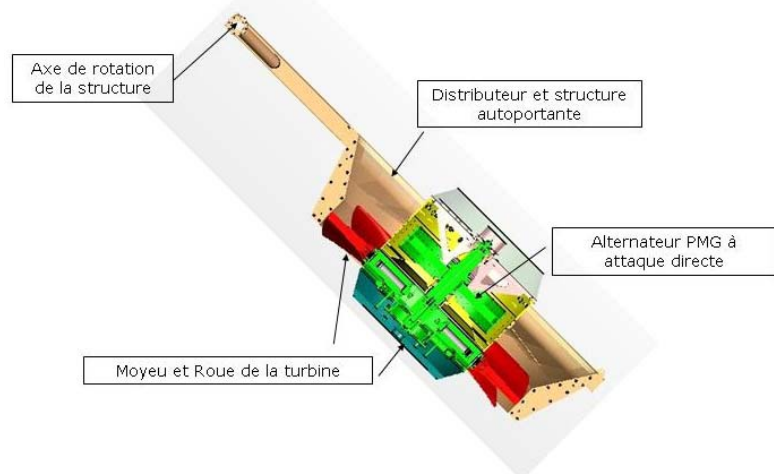
Utilisant sa double expérience de concepteur de turbine et d'exploitant de centrales hydroélectriques, l'équipe de MJ2 a fixé quelques objectifs de base et a conçu et breveté un concept qui les respecte :

1. Coût au kW installé raisonnable des équipements électromécaniques. Retour sur investissement inférieur à 5 ans pour l'ensemble des équipements hors génie civil.
2. Pas ou peu de génie civil pour l'installation de la turbine. Cependant une infrastructure minimale existante est nécessaire. (Ouvrage de dérivation, seuil, etc.)
3. Grande fiabilité et utilisation massive de "plus c'est simple mieux c'est"
4. Groupe compact facile à exploiter, facile à installer et mettre en route.
5. Submersible
6. 100 % ichtyophile© (littéralement, ami des poissons ou "fish friendly").
7. Techniquement avancé, un concept du 21<sup>ème</sup> siècle.

Ces objectifs s'avère être pertinents. Les évaluations de coûts confirment le 1<sup>er</sup>. Le Génie civil d'implantation du groupe se réduit à sa plus simple expression. Cependant il est clair que dans les pays développés la dérivation doit exister et être utilisable au prix d'un investissement réduit. La VLH est un groupe compact extrêmement simple, à simple régulation, elle incorpore un dégrilleur rotatif, et les pales ferment sur elles même. Elle est équipée d'un générateur à attaque directe aimants permanents et vitesse variable. Cette solution délivre un meilleur rendement global et une fiabilité très supérieure à une installation classique à multiplicateur.

Elle est totalement submergée et peu donc supporter les crues sans dommage. Cela lui procure un fonctionnement très silencieux et un impact visuel très réduit.

De plus ses caractéristiques très spéciales; très basses vitesse de rotation (34 t/mn) grandes roues (de 3,5 à 5,5 m de diamètre) très basse vitesse d'écoulement (moins de 2 m/s) ainsi que d'autres particularités brevetées en font **une turbine ichtyophile qui permettra les migrations piscicoles à travers la roue en fonctionnement** en dévalaison et peut être également en remontaion.



Cette caractéristique très intéressante a été étudiées par le Conseil Supérieur de la Pêche et pris en compte dans l'arrêté de concession administrative de notre site de démonstration de Millau. Très intéressés par les études CFD et la conception soignée de la turbine, le CSP a admis que la VLH pouvait permettre les migrations en dévalaisons à travers la turbine elle-même. Un programme de tests scientifiques avec des espèces vivantes sera mené à bien sur le site de Millau dans le but d'étudier la capacité des poissons à dévaler remonter à travers la turbine en fonctionnement.

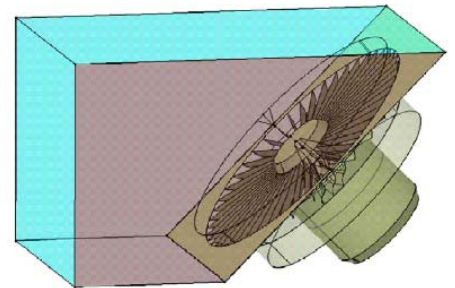
## 2 Programme de recherche et développement

Pour atteindre nos objectifs nous avons suivi un programme scientifique en 3 étapes principales:

### 2.1 CFD optimisation du profil hydraulique et étude sur le caractère ichtyophile de la VLH

En collaboration avec l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG) une optimisation du profil hydraulique a été réalisée par le Pr JL Kueny. Cette étude devait prendre en compte diverses restrictions techniques comme le respect de critères ichtyophiles, la fermeture des pales sur elles mêmes et une conception mécanique simplifiée.

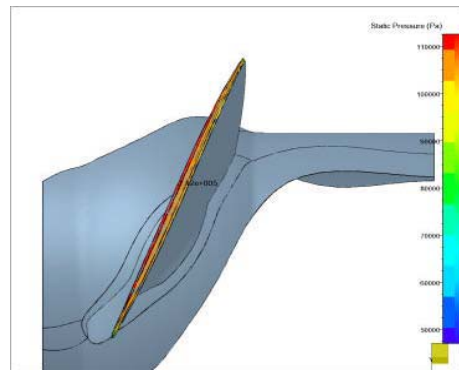
Cette étude a conduit à la conception d'une roue Kaplan de 8 pales avec un bon rendement et un respect global des critères d'ichtyophilie que nous avons fixé.



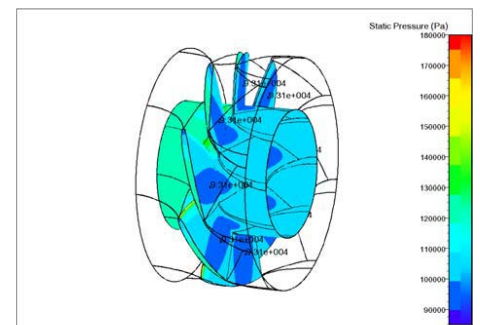
Modèle en 3D du canal d'améné et du distributeur pour les simulations d'écoulement



Roue Kaplan à 8 pales



Simulation d'écoulement sur une pale



Simulation des pressions sur la roue

### 2.2 Test sur modèle réduit à l'université au laboratoire hydraulique de l'Université Laval de Québec

Un test complet sur modèle réduit conforme aux normes CEI a été réalisé au laboratoire hydraulique de l'Université Laval de Québec. Son but est de mesurer avec grande précision les performances de la VLH sous une large gamme de chutes, de débits et avec des variations des angles d'inclinaison du groupe turbo générateur.

Ces tests nous fournirons des informations techniques précises et cruciales qui nous permettront de dessiner les collines de rendement de la turbine.

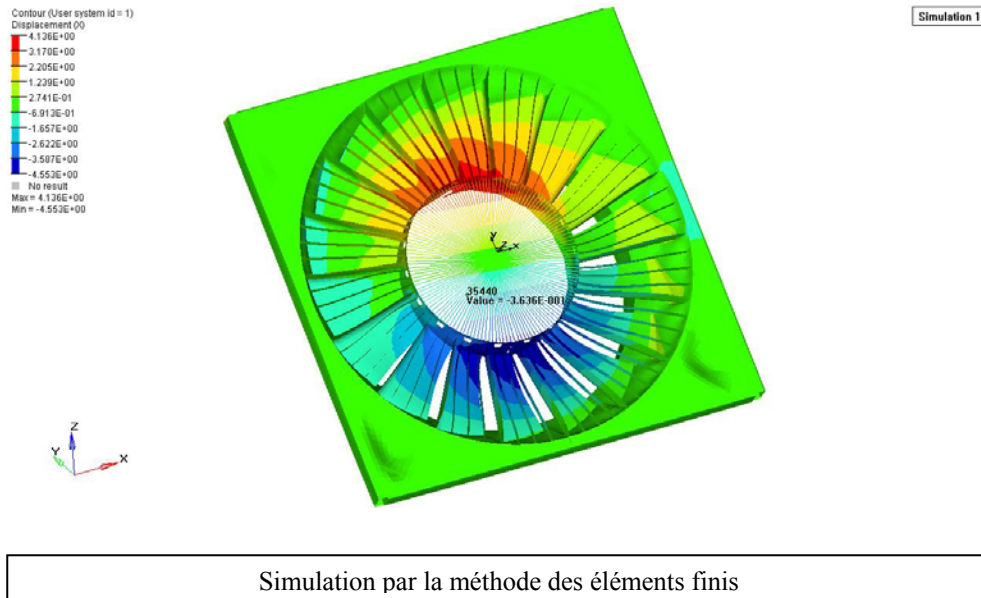
Les premiers résultats ont été communiqués lors de la conférence Hydroenergia 2006. Ils augurent de prestations égales ou supérieures à une solution classique avec multiplicateur de vitesse malgré les contraintes que nous avons imposé d'ichtyophilie et de fermeture des pales sur elles mêmes.



Banc de test de l'Université Laval

### 2.3 Conception mécanique, vérification par calculs avec éléments finis.

La conception détaillée des plans d'exécution a été vérifiée par la méthode des éléments finis sur des simulations CAO tridimensionnelles. Plusieurs itérations ont permis d'optimiser la structure mécano soudée de la VLH.



### 3 Générateur à attaque directe, aimants permanents et vitesse variable.

La VLH est équipé d'un alternateur embarqué directement couple à l'axe de la turbine, dont l'excitation est à aimant permanent et la vitesse est variable et réglable en fonction de la chute disponible. Ce générateur extrêmement lent aura une vitesse nominale inférieure à 40 tr/mn. Il générera en basse fréquence (environ 12 Hz dans le cas de Millau). L'énergie produite sera ensuite traitée par une étape d'électronique de puissance qui fournira au réseau une énergie complètement standard, d'une qualité supérieure respectant les normes en vigueur concernant les harmoniques, et permettant une régulation aisée du  $\cos \phi$ .

Cette caractéristique clef donne à la VLH une fiabilité mécanique exceptionnelle grâce à sa vitesse de rotation très basse, et une grande flexibilité permettant une adaptation aisées aux différents standards de réseaux électriques (50 ou 60 Hz) voire réseau isolé.

La commande et contrôle de l'ensemble est intégrée dans un contrôleur électronique dédié qui gouverne à la fois l'électronique de puissance et la turbine.

### 4 Ichtyophilie

Désireux d'adopter un terme correspondant précisément aux caractéristiques uniques en matière de respect des migrations piscicoles de la VLH, MJ2 a créé un néologisme "ichtyophile" qu'elle a breveté. Les spécificités de la VLH en font l'une des premières turbines ichtyophile jamais conçue. Nous avons dans le chapitre se rapportant aux études CFD que l'optimisation de la conception hydraulique de la turbine a intégré les critères d'ichtyophilie formulés par le Département de l'Energies des USA fruit de nombreuses études sur le sujet. La VLH respecte tous ces critères sauf un qui ne lui est pas applicable.

**4.1 Les calculs CFD montrent le respect de tous les critères d'ichthyophilite sauf un.**

L'étude CFD a incorporé la simulation et le calcul des vitesses d'écoulement, des dépressions, surpressions soudaines, jeu pale moyeux et pale manteau de roue etc.. En voici la synthèse des résultats:

- n°1:** Vitesse périphérique  
Acceptable: 6 à 12 m/s      VLH: 4.5 à 8 m/s
- n°2 :** Pression Minimum  
Acceptable : 69 kPa      VLH: 94 kPa
- n°3:** Variation de pression maximale  
Acceptable: <550 kPa/s      VLH: 80 kPa/s
- n°4:** Variation de vitesse d'écoulement maximale  
Acceptable: <180 m/s/m      VLH: 10 m/s/m
- n°5:** Jeu pale manteau de roue  
Acceptable: <2.0 mm      VLH: 4.5 mm

Ce dernier critère n'est pas rempli par la VLH mais la très faible vitesse d'écoulement < 2 m/s permet aux poissons d'éviter la périphérie de la roue. Sous d'aussi faibles vitesses d'écoulement la plus part des espèces piscicoles sont capables de conserver le contrôle de leur trajectoire et de changer de direction pour éviter les fils d'eau à grande vitesse.

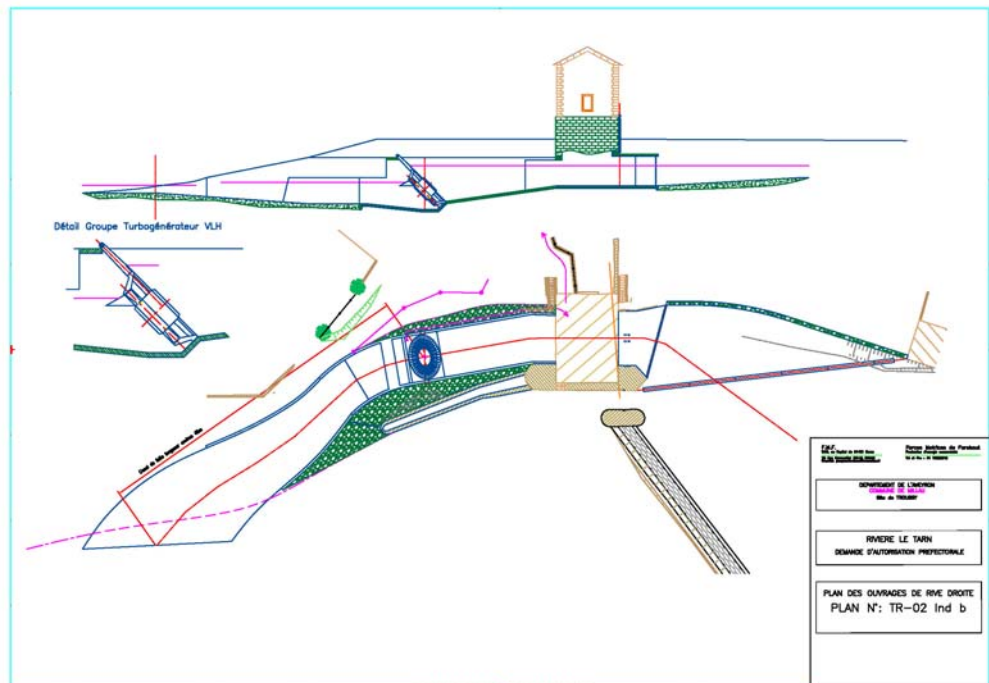
**4.2 Le CSP et les administrations impliquées ont donné une première approbation sur le caractère ichthyophile de la VLH**

Le Conseil Supérieur de la Pêche a pris en considération ces conclusions pour notre site de démonstration de Millau. Il nous a permis d'éviter temporairement tout dispositif spécial de dévalaison (tel que grille fine, échancrure de dévalaison etc..) jusqu'à ce que des tests scientifiques réalisés avec des espèces vivantes le Des tests in situ seront donc réalisés à Millau afin d'évaluer la capacité des poissons à migrer vers l'amont à travers la turbine en fonctionnement.

La Direction Départementale de l'Équipement a également validé ces conclusions et a adopté une attitude très constructive dans l'instruction du dossier de la concession administrative qui nous a permis d'obtenir l'autorisation en moins de 10 mois.

**5 Site de démonstration de Millau et autres projets en cours.**

Les travaux de Génie civil ont débuté sur le site de Millau où sera installée la première VLH. Il s'agit d'un groupe générateur de 450 kW sous 2,5 m de chute. La turbine a un diamètre de roué de 4.500 mm, elle utilise un canal de 6 m de large. La VLH est implantée en aval de l'ancien bâtiment où

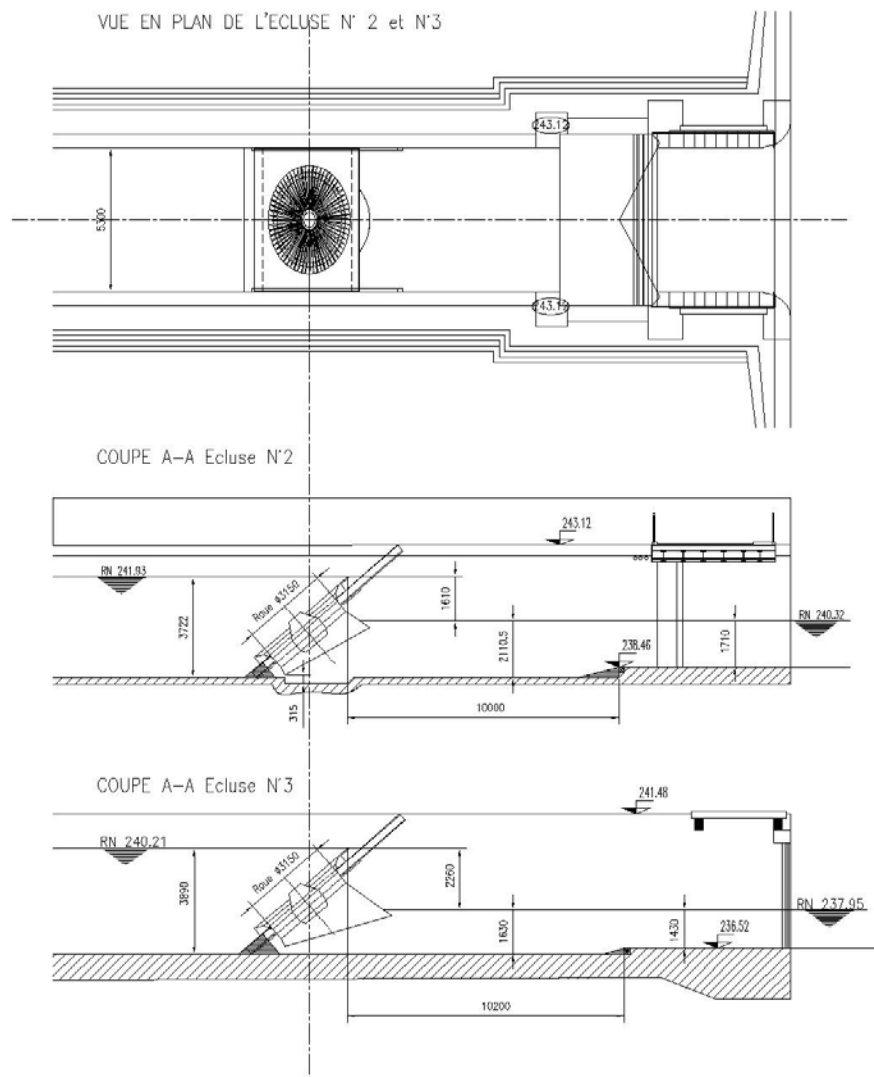


les équipements électriques et les équipements auxiliaires seront situés au premier étage à l'abri des crues.

**5.1 Implantation dans une écluse désaffectée**

Le projet suivant représente une implantation typique du concept VLH. Il est situé dans une écluse de navigation désaffectée sur un canal situé en Alsace près de Colmar proche des frontières Suisses et Allemandes.

Deux groupes VLH seront installés dans deux écluses sous respectivement 1,6 et 2,2 m de chute brute. Ces cas ne requerront pratiquement pas de génie civil.



Implantations dans les écluses n° 2 & 3 du canal d'Huningue Channel à Colmar (Alsace)

**6 Conclusions:**

MJ2 a développé un concept révolutionnaire de groupe turbo générateur pour centrales hydroélectriques de très basses chutes. Dans l'esprit de ses concepteurs il s'agit d'une avancée considérable dans la conception des turbines pour PCH au cours des quatre dernières décennies.

La VLH traite toutes les menaces liées au développement de la petite hydroélectricité dans les pays développés et ouvre de nouvelles perspectives dans les pays en voie de développement disposant de ressources hydrauliques mais de peu de relief (ie Basse vallée du Nil, Bangladesh, Pakistan, réseaux d'irrigation etc..)

La construction du premier site pilote est en cours, la conception mécanique de la turbine est terminée et sa construction a commencé.

Le groupe turbo générateur VLH offre aux pays développés la possibilité de mettre en valeur un gisement d'énergies renouvelable qui n'avait jamais été pris en compte jusqu'à maintenant. Il intègre tous les progrès technologiques de ce début de 21<sup>ème</sup> siècle.



Le développement du projet VLH n'aurait pu être possible sans le soutien financier et l'appui des partenaires suivants:

ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)



Ministère Délégué à la Recherche (France)



NRCan  
(Département des Ressources Naturelles du  
Canada)



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

Pour plus d'information consultez notre site web [www.vlh-turbine.com](http://www.vlh-turbine.com)

1 rue de l'Etain Zone Artisanale de Bel-Air  
12850 Onet le Château (France)  
Tel : +33 615756699  
Email : m.leclerc@vlh-turbine.com