

Turbinage de l'eau potable et des eaux usées :

Retour d'expériences et recommandations pour les équipements électromécaniques

5èmes rencontres de Grenoble
4 avril 2012



Bases de l'expérience Mhylab

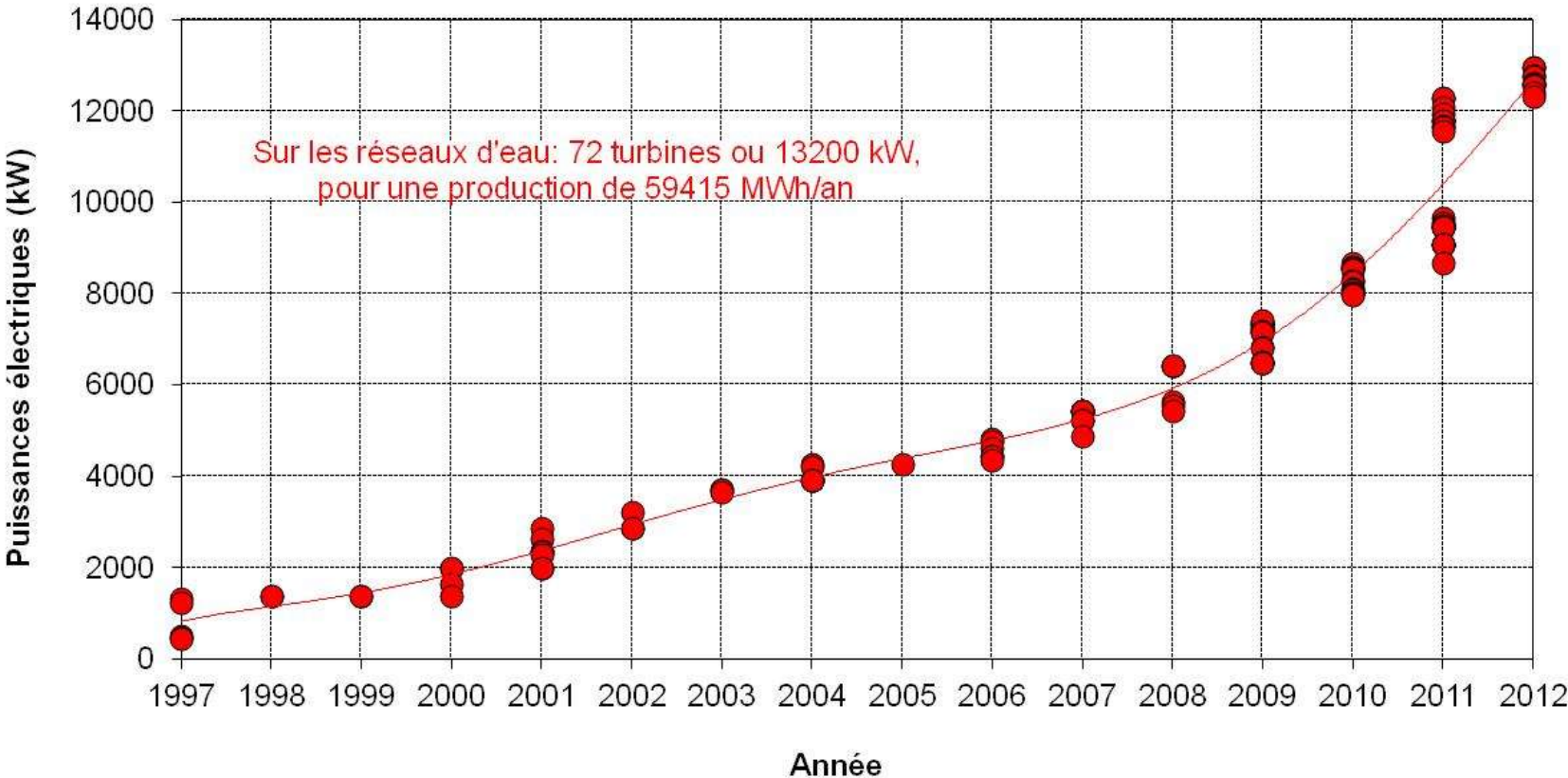
- **68 projets d'ingénierie** (étude de potentiel, étude de faisabilité, cahier des charges, analyse des offres, suivi de fabrication, mise en service, expertise) depuis 1998 en Suisse, France, Italie, Roumanie, Jordanie
- **72 conceptions** de turbines intégrées à des réseaux d'eau potable et d'eaux usées (Suisse, France, Italie)



Our passion, your solution.

Turbines sur les réseaux d'eau conçues par Mhyllab

Puissances électriques cumulées de 1997 à mars 2012 (kW)





Our passion, your solution.

L'hydroélectricité c'est :

Tout processus impliquant un débit d'eau
et une pression excédentaire est une
source potentielle d'énergie

Dénivellation entre 1.5 et 1000 mètres

$$P_{\text{él}} > 10 \text{ kW}$$

Sur des cours d'eau + dans des infrastructures
existantes



Infrastructures existantes pouvant présenter un potentiel hydroélectrique

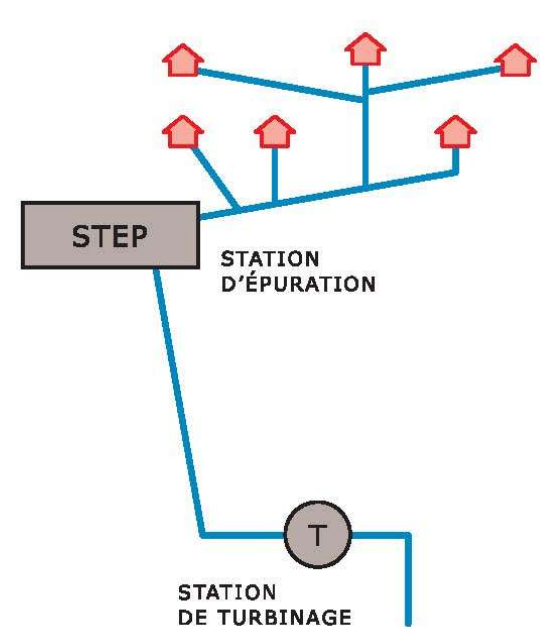
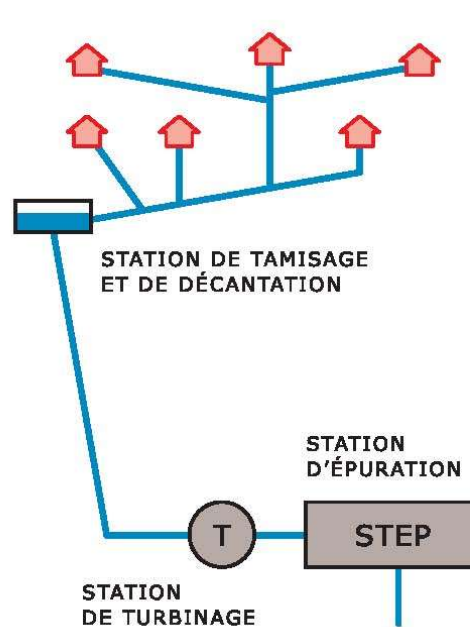
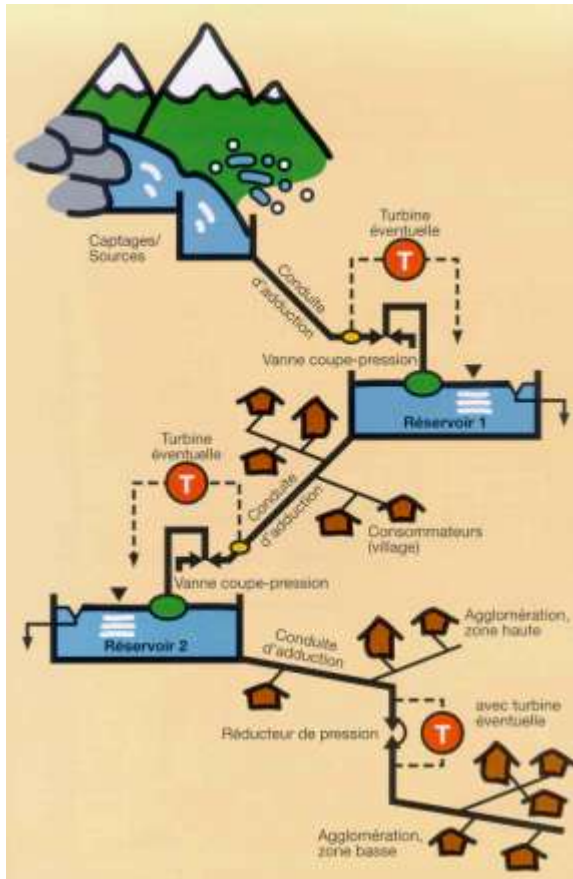
- **Réseaux:** eau potable / eau d'irrigation / eaux usées avant et après traitement / eaux claires
- Pied de barrage: débit de dotation
- Passes à poissons: débit d'attrait
- Ecluses
- Usines de dessalement
- Systèmes de refroidissement ou de chauffage



Principes d'une petite centrale dans une infrastructure existante

- 1^{ère} priorité: assurer la fonction première de l'infrastructure
- 2^{ème} priorité: maximiser la production électrique
 - > **intégration** la PCH dans l'infrastructure
 - > **flexibilité** de la turbine
 - > **by-pass de la turbine** pour assurer la fonction 1^{ère} de l'infrastructure en tout temps

Turbinage des réseaux d'eau



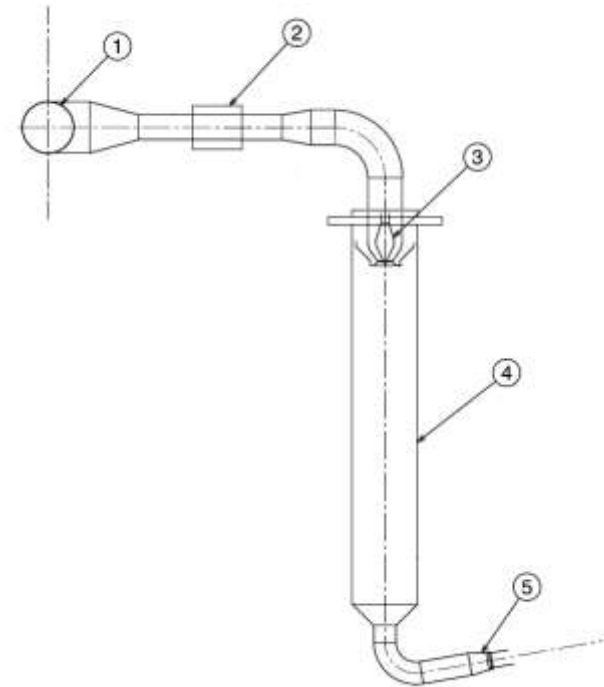
Turbinage des réseaux d'eau:

Principe:

Valorisation de la pression excédentaire du réseau d'adduction

Précautions:

- Acier inoxydable
- Conduite de diamètre suffisant pour limiter la perte de charge
- Pas de dispositif de commande à huile sur les aménagements eau potable
- By-pass pour assurer l'approvisionnement



Dissipateur de Carnot pour $H > 60$ m
1: bifurcation, 2: vanne, 3 injecteur,
4: tube de carnot, 5: tuyère de décharge

Avantages du turbinage des réseaux d'eau:

- Oxygénation de l'eau
- Aucun impact négatif sur l'environnement
- Démarche administrative en principe simplifiée (Suisse)
- Pour l'eau potable: entretien aisé (eau sans sédiments)
- Rentrées financières pour la collectivité
- Amélioration de la rentabilité de projets de réhabilitation ou d'extension des réseaux d'eau



Turbine sur l'eau potable de Lens (Suisse): 40 l/s, 87 m, 30 kW
Pelton 1 injecteur (Telsa SA)

Station	Pompage	Turbinage
Vanne de garde	oui	oui
Organe de régulation de débit	non	oui
Roue liée à un arbre tournant	oui	oui
Joints d'arbre	oui	oui
Bâti et roue en contact avec l'eau	oui	oui
Paliers à roulement graissés à vie	oui	oui
Machine électrique	oui (moteur)	oui (génératrice)
Armoires électriques	oui	oui
Transformateur MT /BT	oui, si $P > 10$ kW	oui, si $P > 10$ kW
Matériaux de construction usuels de la machine hydraulique	Acier, fonte, acier inoxydable, bronze	Acier, fonte, acier inoxydable, bronze
By pass automatique	non	oui
Accès à l'eau	Démontage nécessaire	Démontage nécessaire



Equipements électromécaniques abordés

1. Turbine Pelton: classique + contre-pression: $H > 60$ m
 2. Pompes inversées: $P < 30$ kW
 3. Turbine Kaplan: 1.0 m $< H < 30.0$ m
- + tableau de comparaison en fin de document



Our passion, your solution.

1.1 TURBINE PELTON CLASSIQUE

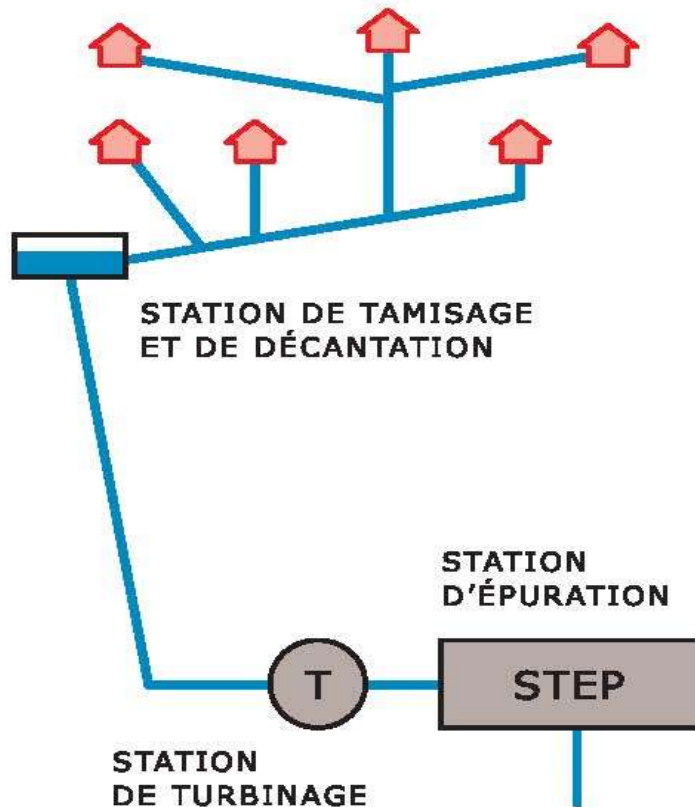


Our passion, your solution.



Centrale du Châble - Profray Turbinage des eaux usées de Verbier (Suisse)





Turbinage avant STEP

Conception:

- Caractéristiques de l'eau brute?
- Bassin de mise en charge
- Choix du **type d'acier** inoxydable vu les contraintes de corrosion, abrasivité, résistance mécanique, facilité d'usinage
- **Turbine**: pas de singularités, vitesse d'écoulement, trous de main pour le nettoyage, ...
- Diamètre de la **conduite**

Entretien (à minimiser):

- Nettoyage conduite + turbine
- Réalisé par le personnel de la STEP

Centrale du Châble – Profray (Suisse)



Dénivellation: 449 m

Débit max: 100 l/s

Puissance électrique: 350 kW

Production: 850'000 kWh/an
(170 ménages)

Conception technique: Mhylab

Constructeur: Gasa SA

*Exploitant: Services Industriels
de Bagnes*

Organe de sécurité des Pelton: déflecteur



Déflecteur sur la turbine du Profray: avant mise en service,
après plusieurs heures de fonctionnement



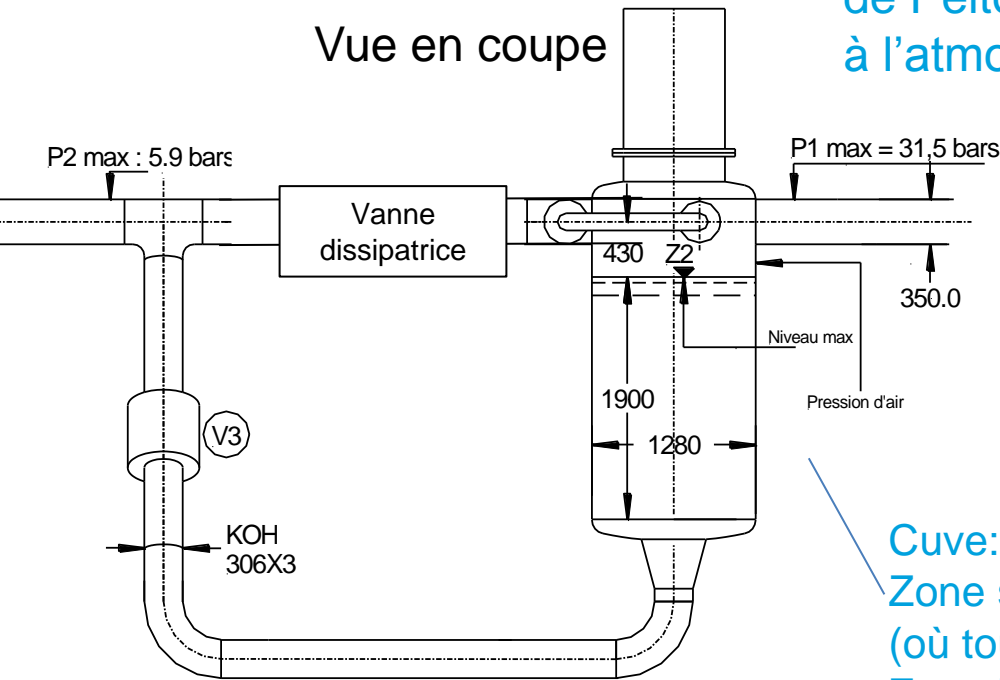
Our passion, your solution.

1.2 TURBINE PELTON À CONTRE-PRESSION

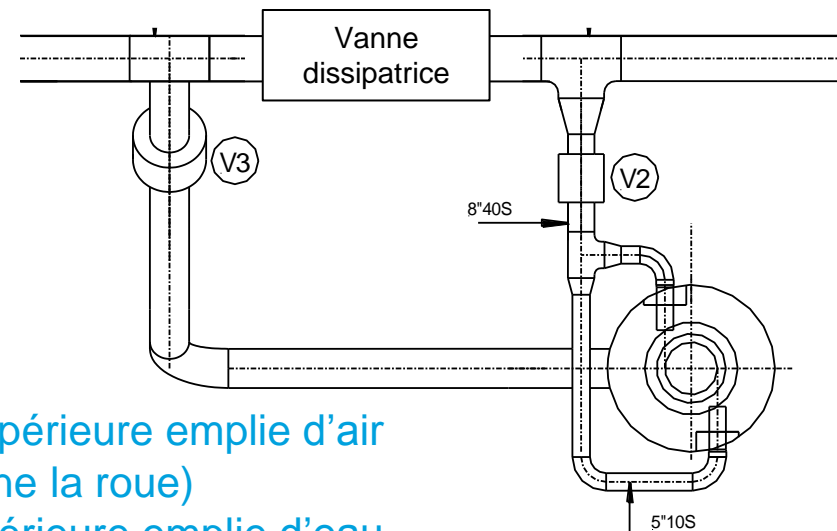
Turbine Pelton à contre-pression

But: la pression en sortie de Pelton est supérieure à l'atmosphère

Vue en coupe



Situation



Cuve:
 Zone supérieure emplie d'air
 (où tourne la roue)
 Zone inférieure emplie d'eau
 Hauteur définie par l'évacuation des bulles d'air

Pelton contre-pression sur l'eau potable de Morges (Suisse)

$Q = 0.083 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_n = 104 \text{ m}$

70 kW

Mise en service: 2011

*Exploitant: Romande
Energie*

*Constructeur: Blue Water
Power AG*

*Conception hydraulique:
Mhyllab*



Pelton contre-pression sur l'eau potable de Morges (Suisse)



Blue water Power AG
+ Häny AG

Le compresseur d'air





Our passion, your solution.

2.POMPE INVERSÉE

Pompe inversée sur l'eau potable de Morges (Suisse)

Réhabilitation

$Q = 0.076 \text{ m}^3/\text{s}$ (fixe)

$H_n = 43 \text{ m}$

23 kW

Mise en service: 2011

*Exploitant: Romande
Energie*

Constructeur: Häny AG

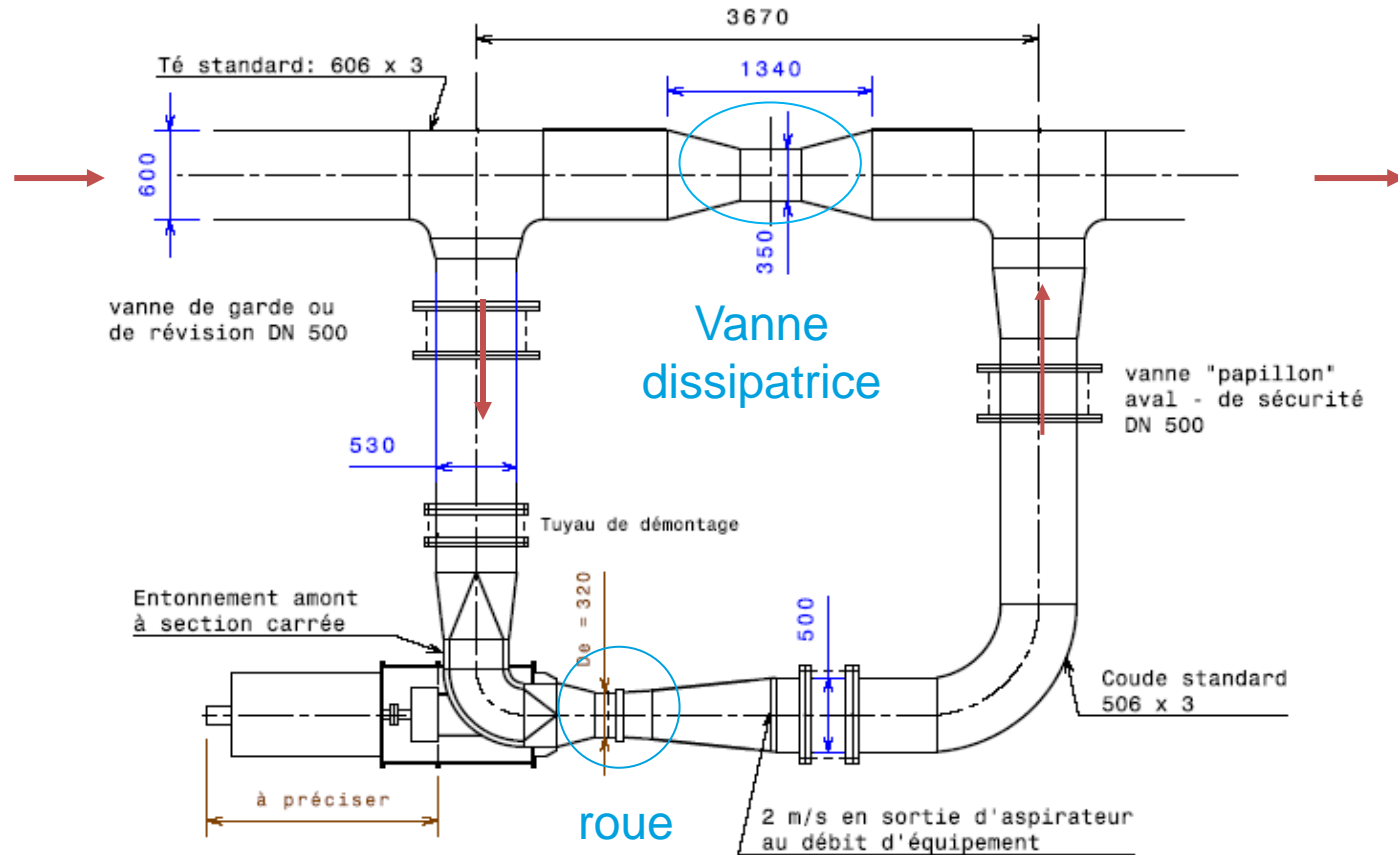




Our passion, your solution.

3.TURBINE KAPLAN

Turbine Kaplan sur l'eau potable d'Arezzo (Italie)



Turbine Kaplan sur l'eau potable d'Arezzo (Italie)



$Q = 0.380 \text{ m}^3/\text{s}$

$12 \text{ m} < H_n < 18.3 \text{ m}$

8 pales

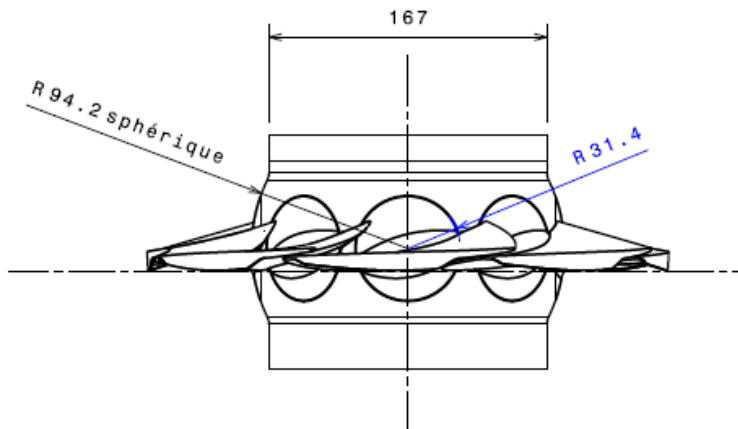
diamètre externe de roue:
314 mm

vitesse variable (forte perte
de charge)

60 kW

Mise en service: 2010

Turbine Kaplan sur l'eau potable d'Arezzo (Italie)



Cavitation: implantation 2 m sous le niveau d'eau aval (configuration propre au site de traitement)

Partenaires:

- *Exploitant: Nuove Aquae, Suez Environnement*
- *Conception hydraulique: Mhyllab*
- *Constructeur: sarl Desgranges*
- *Machine électrique et convertisseur de fréquence: Leroy Sommer*
- *Contrôle commande: Erema*



Our passion, your solution.

4.COMPARAISON DES TURBINES PELTON, POMPES INVERSÉES ET TURBINES KAPLAN

Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
Plage de fonctionnement recommandée	$H > 60 \text{ m}$, $P > 15 \text{ kW}$	$1 \text{ m} < H < 100 \text{ m}$ $P < 30 \text{ kW}$	$1 \text{ m} < H < 30 \text{ m}$
Flexibilité suivant les débits	Jusqu'à 10 % du débit maximal par injecteur. En petite hydraulique, elle peut être équipée de 1 à 4 injecteurs.	A débit fixe ou pour une plage de débit très limitée: entre 80 et 100 % de son débit maximal, selon le type de pompe.	Jusqu'à 15 % du débit maximal, si les pales sont réglables en fonction du débit
Flexibilité suivant les chutes	Large, définie sur la base de sa colline de rendement.	Réduite, voire non prédictible car caractéristiques de fonctionnement souvent mal définies pour ce type de matériel standard	Large, définie sur la base de sa colline de rendement

Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
Organe de régulation des débits	Injecteur(s)	Aucun, ce qui implique la nécessité d'intégrer en amont de la pompe une vanne régulée pour permettre le démarrage et l'arrêt de la pompe. Cette vanne entraîne un investissement supplémentaire.	Pales de la roue motrice
Pression en sortie de turbine	La roue tournant dans l'air, pression atmosphérique pour les Pelton classiques ou, pression d'air supérieure pour les Pelton à contre-pression.	La roue tournant dans l'eau, la pression est supérieure à l'atmosphère en sortie de machine.	La roue tournant dans l'eau, la pression est supérieure à l'atmosphère en sortie de machine

Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
Performances	<p>Rendement maximal pour une turbine développée en laboratoire: plus de 90 % - l'ajout d'un injecteur permet des gains de performance important aux petits débits. Les rendements issus d'essais en laboratoire peuvent être garantis.</p>	<p>Rendement maximal au débit nominal: 75 %, si la pompe est développée pour fonctionner en turbine. Ce rendement chute rapidement avec la diminution des débits. Peu de garanties de rendement disponibles sur le marché.</p>	<p>Rendement maximal pour une turbine développée en laboratoire: plus de 90 %. Les rendements issus d'essais en laboratoire peuvent être garantis</p>
Mode opératoire	<p>"au fil de l'eau": la turbine est régulée de manière à maintenir un niveau d'eau amont constant, soit un mode opératoire souple.</p>	<p>De préférence, "en éclusées" en cas de débits variables: nécessité de stocker l'eau en amont pour obtenir le débit de fonctionnement de la pompe (ou installer plusieurs pompes)</p>	<p>"au fil de l'eau": la turbine est régulée de manière à maintenir un niveau d'eau amont constant, soit un mode opératoire souple</p>



Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
<p>Séquences de marche/arrêt</p>	<p>Limitées, la turbine fonctionnant sur une large plage de débits et de chute, et ce d'autant plus qu'elle possède de nombreux injecteurs.</p>	<p>Nombreuses (au maximum 50 par jour), ce qui peut entraîner une usure rapide des équipements (vanne, générateur par fatigue des matériaux, qui doivent donc être particulièrement robustes et coûteux. Machine peu souple, car aucun moyen de synchronisation. Chaque phase de démarrage entraîne une perte d'énergie.</p>	<p>Limitées, la turbine fonctionnant sur une large plage de débits et de chute</p>

Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
<p>Arrêt d'urgence</p>	<p>Système simple et fiable: lors d'un déclenchement de l'installation, les déflecteurs de la turbine Pelton entrent en action et dévient le jet, permettant au by-pass dissipateur d'énergie de s'ouvrir, et aux injecteurs de se fermer lentement pour éviter un coup de bélier dans la conduite, tout en empêchant la turbine de partir à l'emballement.</p>	<p>Fermeture de la vanne d'entrée, demandant un contrôle soigné pour éviter tout coup de bélier dans la conduite (possibilité également d'installer une vanne aval) + ouverture simultanée du by-pass</p>	<p>En utilisant une vanne aval de sécurité + ouverture simultanée du by-pass</p>
<p>Matériel</p>	<p>Acier inoxydable recommandé pour des questions de qualité de l'eau et d'entretien</p>		

Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
Encombrement	Dépend de la chute et du débit: plus la chute est grande ou plus le débit est petit, plus la turbine est petite.	La pompe sera en général moins encombrante que la turbine.	Dépend de la chute et du débit: plus la chute est grande ou plus le débit est petit, plus la turbine est petite
Axe	vertical ou horizontal.	vertical ou horizontal.	Vertical, incliné ou horizontal
Infrastructure / génie civil	Placée en général sur un réservoir (classique), ou intégrée au réseau (contre-pression)	De préférence, bassin en amont qui limite les phases de marche / arrêt, et permet de maximiser la production	Bassin aval qui assure l'immersion permanente de la sortie de l'aspirateur
Bruit	Dû essentiellement au générateur.	Dû essentiellement aux nombreuses phases de marches / arrêts.	Dû essentiellement au générateur

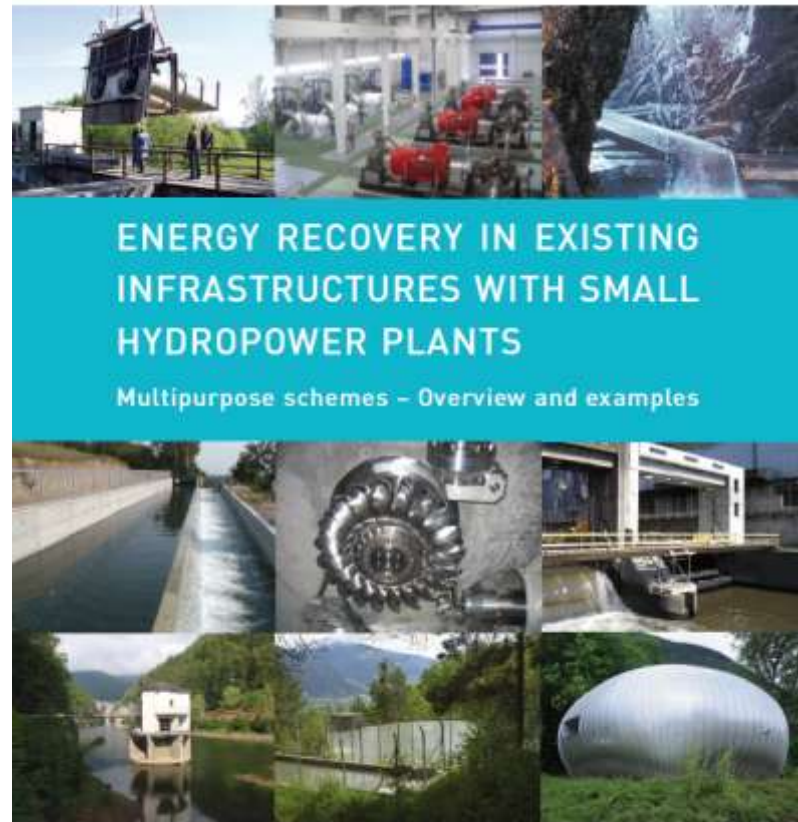
Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
Vibrations	Peu de vibrations.	Dues essentiellement aux nombreuses phases de marches / arrêts.	Peu de vibrations
Maintenance	Aisée et rare.	Aisée, mais plus fréquente que pour la Pelton en raison des nombreuses phases de marche/arrêt.	Aisée et rare
Durée de vie	Supérieure à 30 ans.	Dépend du fournisseur, entre 10 et 15 ans.	Supérieure à 30 ans



Thème	Turbine Pelton	Pompe inversée	Turbine Kaplan
Investissement	<p>Dépend de la qualité de la turbine, et de sa robustesse</p> <p>Dépend du constructeur.</p>	<p>Dépend de la qualité de la pompe, de sa robustesse, de son développement pour fonctionner en turbine.</p> <p>L'investissement pour une pompe est souvent inférieur à celui d'une turbine. A noter la nécessité d'ajouter le montant de la vanne de régulation.</p>	<p>Dépend de la qualité de la turbine, et de sa robustesse</p> <p>Dépend du constructeur</p>

Pour en savoir plus: brochure sur le turbinage Dans les infrastructures existantes en anglais uniquement)

Disponible au stand Mhyllab



20.03.2012



Pour en savoir plus

mhylab

Ch. du Bois Jolens 6

1354 Montcherand

Switzerland

+41 24 442 87 87

info@mhylab.com

www.mhylab.com

