

De l'énergie noble dans l'eau usée!

Autor(en): **Chenal, Raymond / Roduit, Jacques / Vuillerat, Claude-Alain**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **122 (1996)**

Heft 20

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78868>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

De l'énergie noble dans l'eau usée !

Par Raymond Chenal, ingénieur-conseil, membre du Comité directeur de DIANE, 1815 Clarens, Jacques Roduit, ingénieur du génie rural, et Claude-Alain Vuillerat, ingénieur du génie rural, B+C Ingénieurs SA, 1820 Montreux

Concept et potentiel

Cet article est le résumé d'une étude intitulée « L'eau usée génératrice d'électricité », disponible en deux brochures : « Concept, réalisation et potentiel » (version condensée) et « Dossier technique et étude du potentiel ». On peut les obtenir auprès de l'OCFIM, 3003 Berne (réf. 805.209 df et 805.211 f.)

Cadre général

L'étude du potentiel énergétique du turbinage des eaux usées a été réalisée dans le cadre du projet DIANE 10¹ du programme Energie 2000.

Le but de ce programme est de promouvoir, grâce à sept projets sélectionnés, les ressources énergétiques renouvelables et les économies d'énergies qui n'ont pas encore été exploitées ou qui le sont insuffisamment. Il s'agit donc d'abord d'analyser le potentiel de ces ressources et ensuite de favoriser leur mise en valeur.

Les sept projets DIANE ont démarré en 1992. Tous sont, bien entendu, orientés vers les économies d'énergie et vers la production des énergies renouvelables. C'est le projet DIANE 10 qui nous intéresse ici : Petites centrales hydrauliques – DIANE PCH.

Quels sont les objectifs de DIANE PCH ?

Afin que les petites centrales hydrauliques puissent apporter leur contribution à la réalisation du but que s'est fixé Energie 2000, c'est-à-dire augmenter de 5 % la production d'énergie hydraulique d'ici la fin du siècle, il importe non seulement de mettre un terme à la disparition des petites centrales, mais aussi de remettre en service les centrales abandonnées et de rénover celles qui sont devenues vétustes. De plus, il faut encourager les nouvelles constructions qui font un bon usage de l'eau.

Le turbinage des eaux usées pour produire de l'énergie électrique entre parfaitement dans cette perspective.

Quel est l'état de l'expérience dans le domaine du turbinage des eaux usées ?

Depuis 1916 déjà, une petite centrale hydroélectrique turbine les eaux épurées par la STEP (station d'épuration) de Hofen à Saint-Gall et produit plus d'un million de kWh par an. Beaucoup plus récemment, trois installations ont été mises en service avec succès : deux dans le canton de Vaud (Leyzin et Nyon) et en Valais (Verbier-Le Châble). Cette dernière constitue une expérience probablement encore unique de turbinage d'eaux usées n'ayant subi qu'un pré-traitement mécanique (tamisage).

Comment récupérer l'énergie hydraulique des réseaux d'eaux usées ?

On dénombre environ mille STEP en Suisse et le volume d'eau qu'elles traitent est considérable : près de 5 millions de m³ par jour. Certaines de ces installations traitent les eaux usées d'agglomérations situées en altitude. Que ce traitement soit effectué au niveau de l'agglomération ou dans une STEP en contrebas dans la vallée (c'est le cas de Verbier), la dénivellation peut représenter une énergie potentielle exploitable (voir également à ce sujet la brochure PACER : « Petites centrales hydrauliques »). Comme pour toute installation utilisant la force hydraulique, la production annuelle d'énergie électrique E , exprimée en Joules/an, est donnée par la relation :

$$E = \rho \cdot V \cdot g \cdot \Delta Z \cdot k \quad [J/an]$$

On y retrouve les deux grandeurs caractéristiques de l'installation : le volume d'eau disponible V et la dénivellation ΔZ (différence d'altitude entre les niveaux d'eau de mise en charge et de restitution). Les termes ρ et g sont respectivement la masse volumique de l'eau et l'accélération de la pesanteur.

Le terme k est le coefficient global de performance.

En admettant $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ et en exprimant E en kWh/an, on obtient cette expression simple :

$$E = 2,725 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot \Delta Z \cdot k \quad [kWh/an]$$

Le coefficient global de performance k résulte des contraintes de l'aménagement, des techniques disponibles et encore de choix économiques. C'est le produit de trois coefficients :

$$k_1, k_2 \text{ et } k_3 \quad [-]$$

k_1 est le rendement hydroélectrique de l'installation. C'est la combinaison des rendements de la conduite forcée, de la turbine et du générateur électrique.

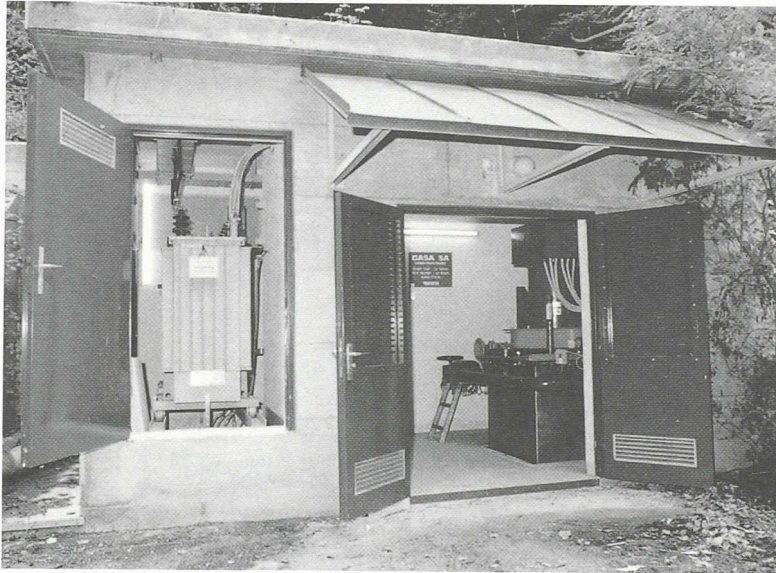
Le rendement de la conduite forcée peut s'écrire sous la forme :

$$k_{1c} = 1 - \mu \cdot \frac{L}{\Delta Z} \quad [-]$$

où μ = coefficient de perte de charge de la conduite = 0,006 [-] (valeur admise pour cette étude) et

L = longueur de la conduite [m]
Le rendement moyen de la turbine a été admis à 84 % et celui du générateur à 92 %.

k_2 est le facteur de dimensionnement économique de l'installation par rapport au volume maximum d'eau débité annuellement. La capacité maximum de turbinage détermine en effet la dimension de l'installation, donc son coût. Par contre, le volume d'eau turbiné annuellement détermine la quantité d'énergie produite. En raison de la variabilité du débit de l'aménagement (journalière, saisonnière, etc.), il existe, pour chaque cas, un optimum économique de la capacité de turbinage par rapport au débit maximum disponible. Dans le cadre de cette étude on a admis que l'installation est dimensionnée pour absorber le 80 % du volume maximum V produit annuellement par l'aménagement, donc $k_2 = 0,80$.



Mini-centrale hydraulique de Leysin/VD

k_3 est le taux de consommation énergétique de l'installation par rapport à sa production électrique. Ce taux ne concerne que les installations qui turbinent les eaux usées brutes. Il s'agit essentiellement de la consommation électrique de l'installation de tamisage. On a admis, sur la base de l'expérience de Verbier-Le Châble, une valeur de 0,95 pour k_3 .

On obtient finalement deux valeurs de k , à introduire dans la formule du calcul de l'énergie:

k_B pour le turbinage des eaux brutes:

$$k_B = 0,59 - 0,0035 \cdot \frac{L}{\Delta Z} \quad [-]$$

k_T pour le turbinage des eaux usées traitées:

$$k_T = 0,62 - 0,0037 \cdot \frac{L}{\Delta Z} \quad [-]$$

Quelle est la rentabilité financière d'une installation de turbinage des eaux usées ?

Il importe maintenant de connaître à quel prix cette énergie est produite. Pour cela, il faut d'abord évaluer le montant de l'investissement global.

Le coût global C d'une petite centrale hydroélectrique peut être approximativement évalué à partir de l'expression suivante:

$$C_1 = 50\,000 + 43\,800 \cdot (E/5000)^{0,85} \cdot (\Delta Z - 0,006 \cdot L)^{-0,27} \quad [\text{Frs}]$$

On retrouve l'énergie produite E , la dénivellation ΔZ et la longueur L de la conduite.

Cette expression est le résultat d'une analyse statistique de plusieurs petits aménagements hydroélectriques et d'une étude des coûts de leurs divers éléments: génie civil, conduite forcée, groupe turbo-générateur, appareillage.

Le montant C_1 comprend le coût C_C de la conduite forcée pour autant que la longueur de celle-ci ne dépasse pas trois fois la dénivellation ΔZ . Dans ce cas, le coût de l'installation s'écrit:

$$C = C_1 \quad [\text{Frs}]$$

On considère que le coût d'une conduite forcée dépend peu de sa longueur L si $L/\Delta Z \leq 3$. En effet, en dessous de cette valeur, les difficultés d'installation compensent, en terme de coûts, la réduction de la longueur. Par contre si $L/\Delta Z > 3$, la plus-value due à la surlongueur doit être prise en compte. Dans ce cas:

$$C = C_1 + \delta C_C \quad [\text{Frs}]$$

δC_C est le produit du coût de base C_1 par le coefficient empirique α_C et par la surlongueur relative de la conduite.

$$\delta C_C = C_1 \cdot \alpha_C \cdot \frac{L - 3 \cdot \Delta Z}{3 \cdot \Delta Z} \quad [\text{Frs}]$$

$$\text{avec } \alpha_C = 0,035 \cdot (\Delta Z - 0,006 \cdot L)^{0,4} \quad [-]$$

Dans le cas du turbinage des eaux usées brutes, il faut ajouter au coût de base C_1 la plus-value C_2 due aux équipements de tamisage et de décantation installés à la prise d'eau. Là également, l'expérience de Verbier-Le Châble a permis d'exprimer ce montant en fonction du volume V :

$$C_2 = 6400 \cdot V^{0,3} \quad [\text{Frs}]$$

Dans ce cas,

$$C = C_1 + C_2 \quad [\text{Frs}]$$

ou, selon la longueur de la conduite:

$$C = C_1 + C_2 + \delta C_C \quad [\text{Frs}]$$

Les formulations précédentes permettent de calculer le prix de revient du kWh produit:

$$r = 100 \cdot \frac{a \cdot C + e}{E} \quad [\text{cts/kWh}]$$

Le terme $a \cdot C$ représente l'annuité fixe (intérêt + amortissement). Le coefficient d'annuité a est admis comme équivalant à 0,0851.

Le terme e représente le coût d'entretien annuel augmenté de la marge d'exploitation, selon la formule empirique:

$$e = 900 \cdot \left(\frac{E}{5000} \right)^{0,6} \quad [\text{Frs}]$$

On définit trois catégories de rentabilité économique sur la base de la recommandation du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie de décembre 1992, fixant à 16 cts/kWh la rétribution pour l'électricité fournie par les auto-producteurs [cts/kWh]:

- 1) $r \leq 12 \Rightarrow$ rentabilité certaine
- 2) $12 < r \leq 20 \Rightarrow$ rentabilité possible
- 3) $r > 20 \Rightarrow$ rentabilité peu probable

Les éléments qui permettent de déterminer la production électrique et la rentabilité économique

des installations de turbinage des eaux usées sont maintenant définies en fonction des trois variables :

- volume turbinable V [m³/an]
- dénivellation ΔZ [m]
- longueur de la conduite L [m]

Comment évaluer le potentiel énergétique des réseaux d'eaux usées en Suisse ?

Deux démarches complémentaires ont été adoptées pour répondre le plus précisément possible à cette question :

- dans un premier temps, un inventaire global, basé sur une approche morphologique des sites, a été réalisé. Il constitue le noyau et le fichier central de l'étude ;
- dans un deuxième temps, un échantillonnage de vingt sites présentant des particularités intéressantes a été effectué. Cet inventaire plus détaillé permet une réflexion plus approfondie tant au niveau énergétique, que technique et financier. Il permet également d'illustrer la prise en compte de la production énergétique dans le cadre des projets d'assainissement.

Seul l'inventaire global est traité dans cet article.

La typologie des sites de turbinage est constituée des deux cas de figure pouvant se présenter en fonction de la position de la turbine par rapport à la STEP.

- Turbinage des eaux usées brutes. La STEP et la petite centrale sont situées dans la vallée, en contrebas de l'agglomération. Cette configuration nécessite une installation de prétraitement au niveau supérieur (tamisage et décantation) ;
- turbinage des eaux traitées. La STEP est située au niveau de l'agglomération. La petite centrale est construite dans la vallée, à proximité d'un exutoire adéquat.

Un premier tri a permis de sélectionner 130 sites qui satisfont aux conditions minimales de production énergétique et de rentabilité financière caractérisées par :

$$E \geq 80\,000 \text{ kWh/an et } \Delta Z \geq 40 \text{ m}$$

H_{90}	= populations communales résidentes selon RFP90	[hab.]
T_{90}	= taux de participation des populations H_{90} à la production du volume disponible pour le turbinage	[-]
q_s	= 0,69 : débit spécifique de production d'eaux usées	[m ³ /j · hab.]
N	= 365 : nombre de jours par an	[j/an]
C	= coefficient d'ajustement des volumes calculés	[-]
	$C = 1$ pour une agglomération normale	
	$C = 3$ pour une agglomération touristique	
m	= nombre de communes contribuant à l'alimentation de la turbine	[-]

Les sources d'information disponibles pour l'élaboration de l'inventaire sont :

- les plans cantonaux d'assainissement au 1/25 000 datant des années 70 pour les 80 % du territoire ;
- les cartes au 1/25 000 pour les 20 % restants ;
- les données concernant les populations communales, tirées du recensement fédéral de 1990 (RFP90) ;
- une copie de la base de données informatique des STEP fournie par l'OFEP.

Le volume turbinable V est obtenu au moyen de la formule suivante :

$$V = \sum_{i=1}^m H_{90} \cdot T_{90} \cdot q_s \cdot N \cdot C \quad [\text{m}^3/\text{an}]$$

avec les valeurs définies dans l'encadré ci-dessus.

La dénivellation ΔZ est tirée des cartes au 1/25 000.

La longueur L de la conduite forcée est calculée selon les coordonnées x , y et z de ses points haut et bas :

$$L = 1,25 \cdot [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2]^{0,5} \quad [\text{m}]$$

Le coefficient 1,25 permet de tenir compte de manière simplifiée des aléas du cheminement de la conduite forcée.

Représentation graphique des aspects énergétiques

Le potentiel énergétique est principalement tributaire de la morphologie du terrain, de la densité de la population et de la structure de l'habitat.

Ces différents facteurs permettent d'expliquer la répartition géographique de l'énergie potentielle

pour les dix-neuf cantons présentant des dispositions pour le turbinage des eaux usées. Les résultats principaux apparaissent dans le graphique de la figure 1.

Le canton du Valais offre de loin les perspectives les plus avantageuses avec plus d'un tiers de l'énergie potentielle totale. L'autre extrême est le canton du Tessin qui s'avère le moins intéressant. Cela s'explique par une structure d'habitat caractérisée par une population résidant à plus de 80 % en plaine.

Le graphique de la figure 2 illustre l'importance de la part des grandes installations dans la production énergétique totale.

On voit que la moitié de la production est réalisée par 85 % des installations, soit 110 sur 130, et que l'autre moitié l'est seulement par une vingtaine.

Représentation graphique des aspects économiques

Le graphique de la figure 3 représente les potentiels énergétiques cantonaux répartis selon le prix de revient du kWh.

On constate que le canton du Valais présente une fois encore la situation la plus intéressante. En effet, 40 % de sa production se situe dans la catégorie de rentabilité la plus favorable. Cette production est par contre obtenue avec seulement 7 % des installations recensées.

L'analyse de chaque site confirme d'ailleurs, qu'en plus de produire la plus grande partie de l'énergie, les grandes installations sont les plus rentables.

Le graphique de la figure 4 montre les courbes cumulées de l'énergie

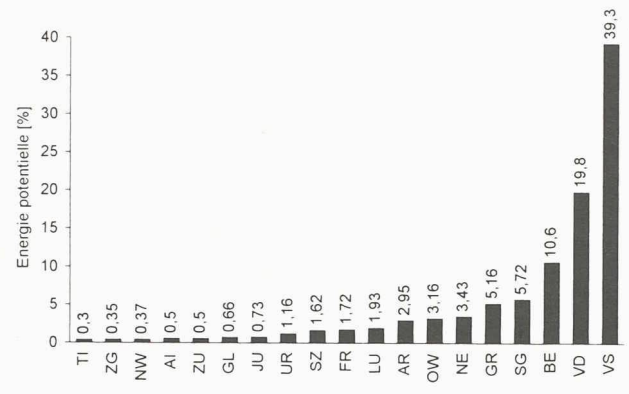


Fig. 1.- Répartition cantonale du potentiel énergétique

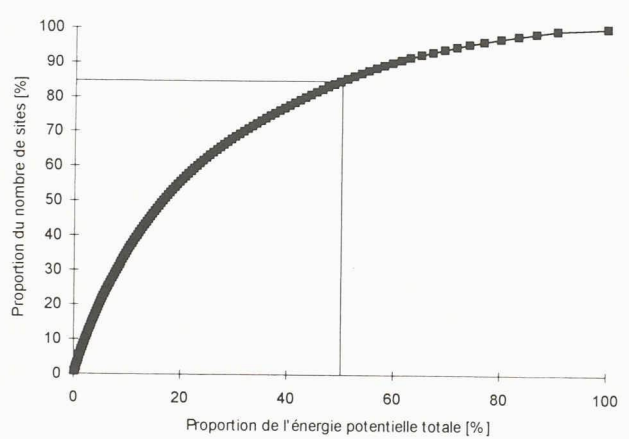


Fig. 2.- Répartition du potentiel par taille d'installation

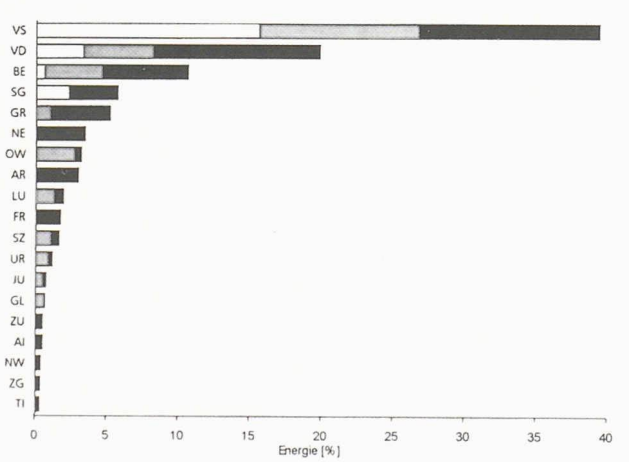


Fig. 3.- Potentiels cantonaux selon le prix de revient du kWh

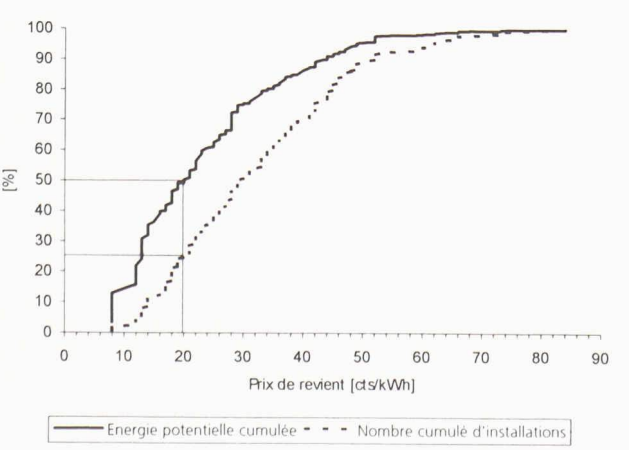


Fig. 4.- Courbes cumulées de l'énergie potentielle et du nombre d'installations en fonction du prix de revient du kWh

potentielle et du nombre d'installations en fonction du prix de revient du kWh.

Il ressort de ce graphique que seulement 25% des installations sont financièrement réalisables selon la limite de 20 cts/kWh. Ces sites produisent par contre la moitié du potentiel global, soit plus de 25 millions de kWh/an.

En conclusion

- *Rappel*
L'étude sur l'utilisation de l'énergie hydraulique des eaux usées a permis de poser les premiers jalons des bases théoriques nécessaires à l'évaluation du potentiel et de la faisabilité financière d'un projet particulier. Une mise à jour de l'état des expériences et des connaissances a ensuite été effectuée. Finalement, le potentiel énergétique suisse de ce type d'installation a été analysé et évalué: il s'élève à quelques 51 millions de kWh/an pour une puissance globale d'environ 10 MW.

A titre de comparaison, cette production d'énergie électrique correspond à la consommation de 11 000 ménages.

- *Points forts*
L'étude du potentiel s'est voulue «transparente». Elle a été conçue comme un outil de travail suffisamment souple pour s'adapter à des conditions spécifiques d'exploitation et à l'acquisition de nouvelles connaissances. A cet effet, les paramètres qui déterminent aussi bien la production que les coûts sont explicités en détail dans la brochure de telle sorte qu'il est aisé de les modifier.

- *Commentaires*
1. L'inventaire énergétique global est une évaluation basée sur une approche morphologique des sites. Une analyse approfondie de chacun d'eux montrerait que, dans certains cas, le potentiel et la rentabilité ainsi déterminés sont surestimés ou, au contraire, sous-estimés. Il s'agit donc

d'une première approche indiquant une tendance que seule une étude détaillée pourra confirmer ou non.

2. Le but prioritaire d'un réseau d'égouts est l'évacuation des eaux usées et non la production d'énergie. Or, la tentation peut être grande de favoriser la production énergétique au détriment de la protection des eaux, soit, par exemple, en ne prenant pas les mesures d'assainissement qui s'imposent (mise en séparatif, etc.).
3. Au stade des connaissances actuelles, on constate que, bien que marginale, l'énergie électrique pouvant être tirée des réseaux d'eaux usées mérite d'être valorisée. De très bons sites existent; les autres sont réalisables en fonction de l'évolution de la politique énergétique et de l'émergence d'une véritable technologie des petites centrales hydrauliques, particulièrement des mini-turbines. A ce propos, des moyens efficaces sont mis en place en ce moment. En effet, le Laboratoire de mini-hydraulique de Montcherand MHyLab, consacré uniquement au développement des mini-turbines (jusqu'à 1000 kW de puissance), entrera en service au début 1997.

