

ÉVALUATION DU COÛT DE CONSTRUCTION
D'UNE PETITE CENTRALE HYDRO-ÉLECTRIQUE NOUVELLE ET COMPLÈTE
ET DU PRIX DE REVIENT DU KWH ($P \leq 1'000$ KW)

AVERTISSEMENT !

Les résultats des calculs de coûts qui suivent sont issus de deux sources :

- Données recueillies sur 118 sites réalisés en Suisse de 1991 à 1998 (enquête de l'ISKB).
- Analyse détaillée des coûts de construction de quelques installations.

La première source montre des données très dispersées pour une partie significative des ouvrages examinés. On peut évoquer quelques causes possibles :

- 1 Le temps que consacre l'exploitant dans la construction de son installation ou dans son exploitation est souvent mal apprécié.
- 2 La production est parfois trop faible par rapport aux caractéristiques hydrauliques de l'aménagement : machines peu performantes ou inadaptées ? Conduite forcée mal dimensionnée ?
- 3 Les coûts d'exploitation sont excessifs (mauvaise fiabilité des matériels ?).
- 4 Quand une partie des équipements est réutilisée (réhabilitation), la valeur correspondante n'est pas prise en compte (ou incomplètement), etc. ...

La deuxième source résulte d'une analyse détaillée d'un nombre encore trop restreint d'installations pour que celles-ci représentent une valeur statistique explicite.

En conséquence : ces résultats sont à utiliser avec la plus grande prudence. Ils n'ont pas d'autre but que de fournir une première évaluation sommaire sur la probabilité de faisabilité financière d'un projet à partir de la prévision du prix de revient « r » du kWh.

On distinguera trois catégories par rapport au tarif de reprise fixé à 15 ct/kWh, dès l'année 2000 :

- | | | |
|----|------------------|---|
| a. | $r \leq 11$ | rentabilité certaine de l'installation |
| b. | $11 < r \leq 18$ | rentabilité possible, nécessite une analyse plus fine |
| c. | $r > 18$ | rentabilité peu probable. |

Le coût global C, exprimé en Francs suisses, d'une petite centrale hydro-électrique nouvelle et complète en fonction de sa puissance électrique, dans le domaine 20 à 1'000 kW, et pour des hauteurs de chute nette variant de 5 à 600 m, peut être approximativement évalué à partir de l'expression suivante:

$$C_1 = 10^3 \cdot (A + B \cdot P^b \cdot H^c) \quad [\text{Frs}]$$

avec C_1 = coût de l'installation pour autant que la longueur L de la conduite forcée ne dépasse pas trois fois la hauteur de chute nette H [Frs]

A = constante empirique = 34,12 [Frs]

B = coefficient multiplicateur empirique = 16,99 [Frs/(kW^b·m^c)]

P = puissance électrique max. de l'installation [kW]

b = exposant empirique de la puissance électrique = 0,91 [-]

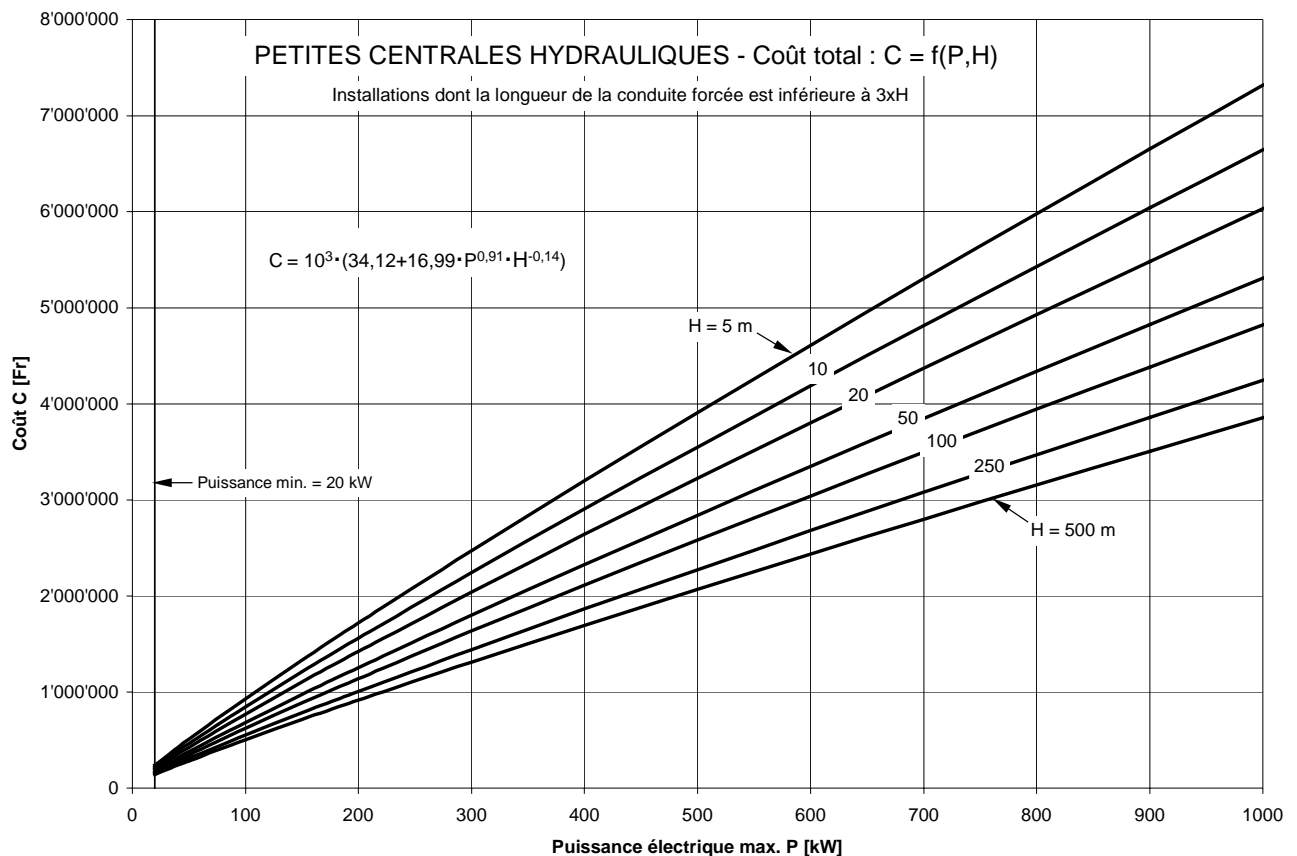
H = hauteur de chute nette [m]

c = exposant empirique de la hauteur de chute nette = -0,14 [-]

donc : $C_1 = 10^3 \cdot (34,12 + 16,99 \cdot P^{0,91} \cdot H^{-0,14})$ [Frs]

si $L \leq 3 \cdot H$ (L = longueur de la conduite forcée) [m]

alors $C = C_1$ [Frs]



Remarques :

1) On peut remplacer le terme H (hauteur de chute nette) par l'expression :

$$\Delta Z - 0,006 \cdot L \quad [m]$$

où ΔZ = dénivellation de l'aménagement (différence d'altitude entre le niveau amont (prise d'eau) et le niveau aval (restitution).

et $0,006 \cdot L$ = valeur « économique » de la perte de charge de la conduite forcée.

2) On peut remplacer le terme P (puissance électrique max.) par l'expression :

$$E / 5'000 \quad [kW]$$

où E = énergie produite annuellement par l'installation (prévision) [kWh]

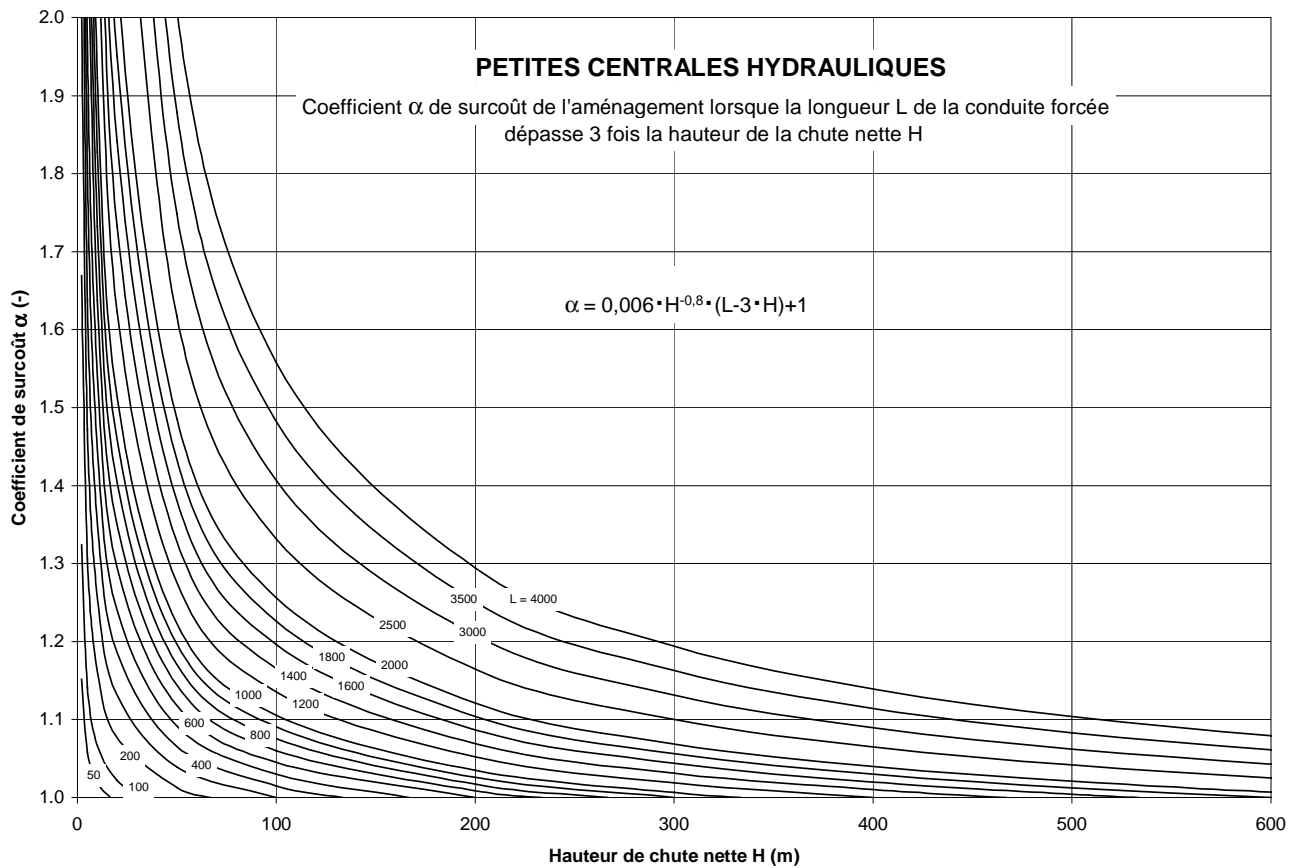
et 5'000 = temps (h) durant lequel l'installation produirait l'énergie E à la puissance max. (énergie équivalente : $P_{max} / 5'000 \text{ h} = P_{moy} / 8'760 \text{ h}$).

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

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

α est le coefficient empirique de surcoût de la conduite forcée

$$\alpha = 0,006 \cdot H^{0,8} \cdot (L-3 \cdot H) + 1 \quad [-]$$



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

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

que l'on peut écrire :

$$r = 100 \cdot \frac{a \cdot C + e}{5'000 \cdot P} = 0,02 \cdot P^{-1} (a \cdot C + e)$$

Le terme $a \cdot C$ représente l'annuité fixe (intérêt + amortissement). Le coefficient d'annuité "a" est déterminé comme suit:

$$a = \frac{R \cdot (1+R)^N}{(1+R)^N - 1} \quad [-]$$

avec $R =$ intérêt bancaire pour 1 Fr $[-]$
 $N =$ durée de l'amortissement $[\text{an}]$

On admet $R = 0,06$ (6,0 %); N est variable suivant la catégorie d'investissement :

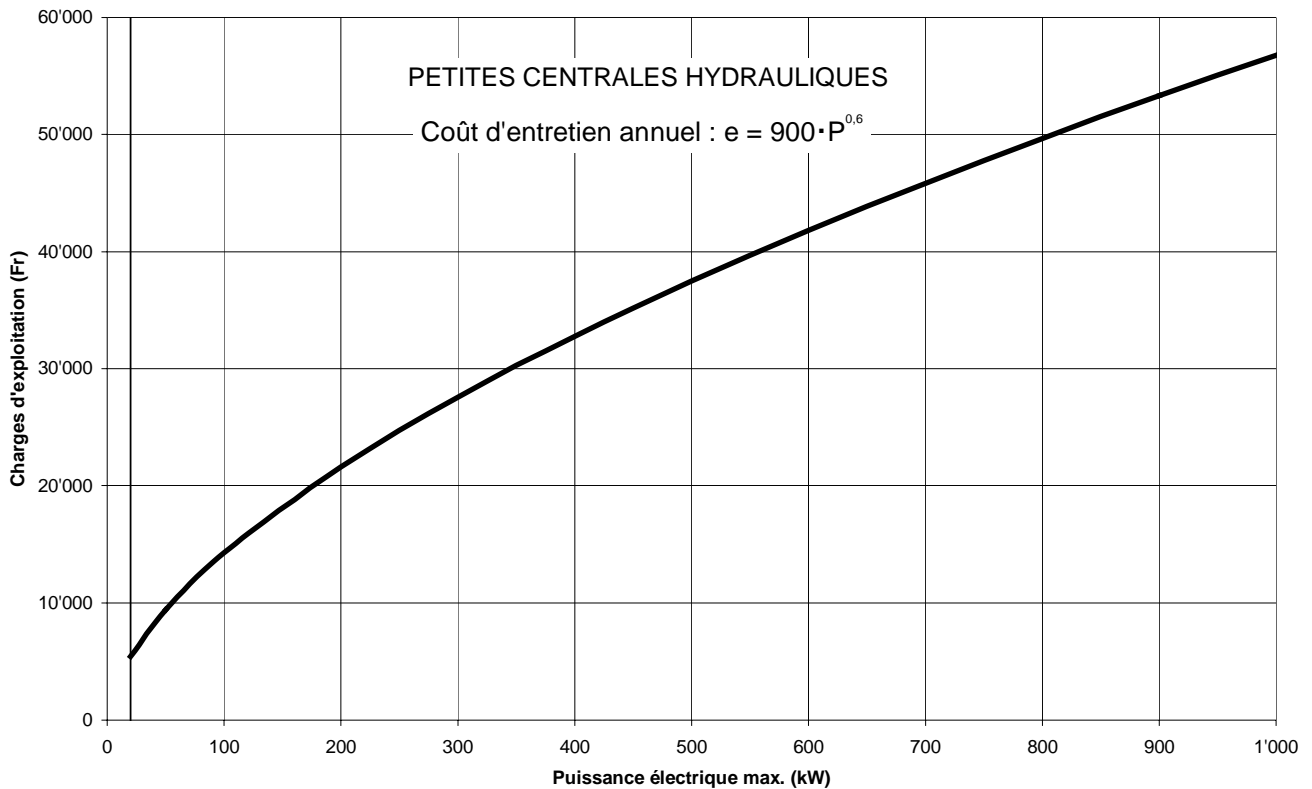
	(1)	(2)	(3)	(4)
Génie civil	48	40	0,0665	3,192
Électro-mécanique	42	25	0,0782	3,284
Appareillage	10	12	0,1193	1,193
TOTAL	100			7,669

- (1) : proportion de l'investissement global, y compris la part correspondante des études générales, de la planification, etc. ... [%]
 (2) : durée N de l'amortissement [an]
 (3) : coefficient d'annuité "a" [-]
 (4) : produit de (1) par (3) [%]

Moyenne pondérée de "a" = $7,669/100 = 0,0767$ [-]

Le terme "e" représente le coût d'entretien annuel, selon la formule empirique :

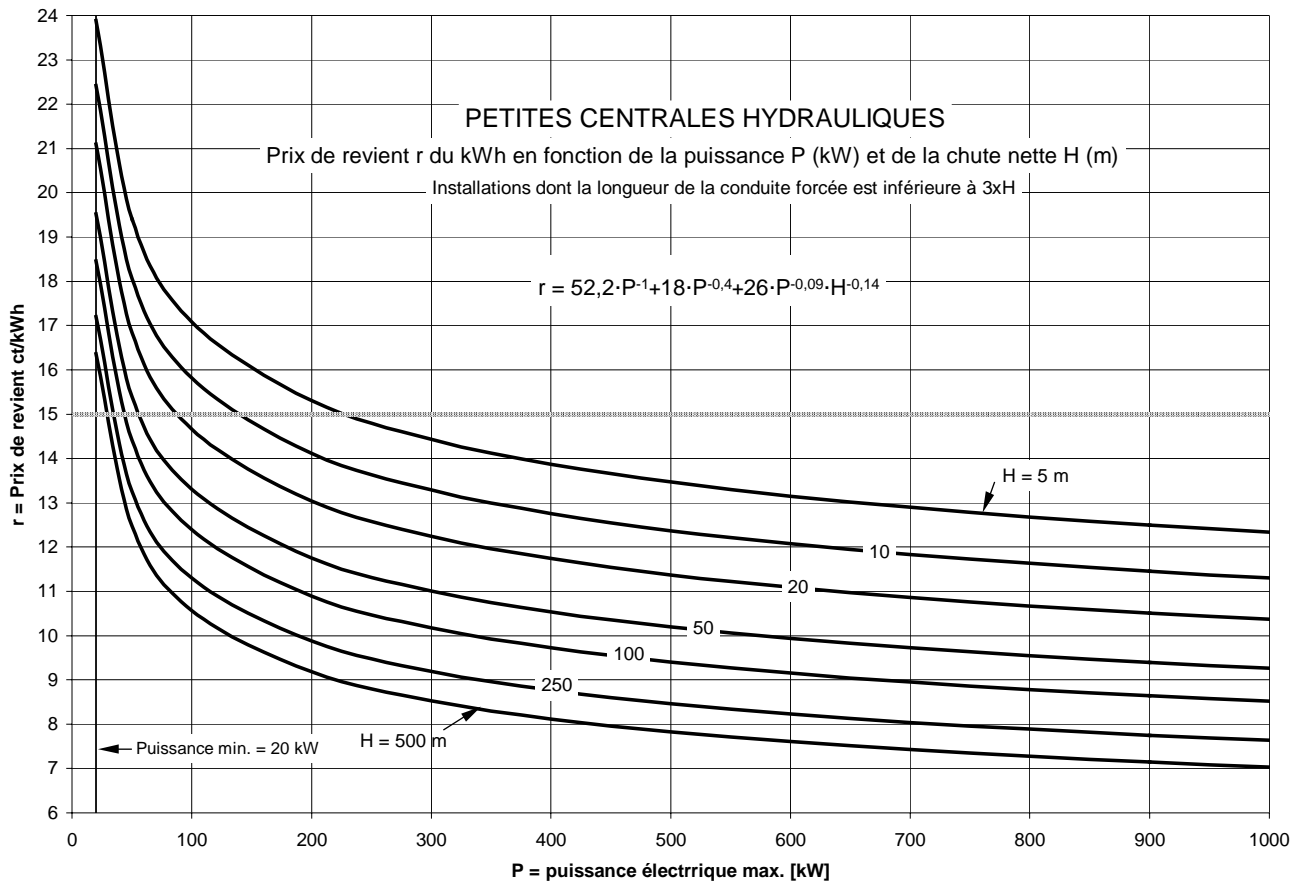
$$e = 900 \cdot P^{0,6} \quad [\text{Frs}]$$



Si la longueur de la conduite forcée est égale ou inférieure à 3 fois la hauteur de chute nette, on calcule directement le prix de revient du kWh

$$r = 52,2 \cdot P^{-1} + 18 \cdot P^{-0,4} + 26 \cdot P^{-0,09} \cdot H^{-0,14} \quad [\text{ct/kWh}]$$

que l'on peut lire sur graphique de la page suivante :



Remarque importante :

Le prix de revient ainsi déterminé ne comprend pas la marge financière nécessaire à l'obtention d'un prêt bancaire, variable de cas en cas selon les fonds propres investis, les cautionnements possibles, etc.

Premier exemple

La longueur L de la conduite est égale (ou inférieure) à la hauteur de chute nette H

- P = 200 (puissance électrique max. de l'installation) [kW]
- ou E = 200·5'000 = 1'000'000 (production annuelle) [kWh]
- H = 100 (hauteur de chute nette au débit max.) [m]
- L = 300 (longueur de la conduite forcée = 3·H) [m]
- ou ΔZ = H+0,006·L = 100+0,006·300 = 101,8 (dénivellation de l'aménagement) [m]

Coût de l'aménagement

$$C = 10^3 \cdot (34,12 + 16,99 \cdot P^{0,91} \cdot H^{-0,14})$$

$$C = 10^3 \cdot (34,12 + 16,99 \cdot 200^{0,91} \cdot 100^{-0,14}) = 1'141'077,-- \quad [\text{Frs}]$$

On peut calculer directement le prix de revient du kWh

$$r = 52,2 \cdot P^{-1} + 18 \cdot P^{-0,4} + 26 \cdot P^{-0,09} \cdot H^{-0,14} \quad [\text{ct/kWh}]$$

$$r = 52,2 \cdot 200^{-1} + 18 \cdot 200^{-0,4} + 26 \cdot 200^{-0,09} \cdot 100^{-0,14} = 10,9 \quad [\text{ct/kWh}]$$

que l'on peut également calculer de la manière suivante :

$$r = 0,02 \cdot P^{-1} \cdot (a \cdot C + e) \quad [\text{ct/kWh}]$$

avec $e = 900 \cdot P^{0,6}$ (charges annuelles d'exploitation) [Frs]

$$= 900 \cdot 200^{0,6} = 21'620,-- \quad [\text{Frs}]$$

$$r = 0,02 \cdot 200^{-1} \cdot (0,0767 \cdot 1'141'077 + 21'620) = 10,9 \quad [\text{ct/kWh}]$$

Deuxième exemple

La longueur L de la conduite est supérieure à trois fois la hauteur de chute nette H

$$L = 900 \quad [\text{m}]$$

ou $\Delta Z = H + 0,006 \cdot L = 100 + 0,006 \cdot 900 = 105,4$ (dénivellation de l'aménagement) [m]

Coefficient de surcoût dû à la sur-longueur de la conduite forcée

$$\alpha = 0,006 \cdot H^{-0,8} \cdot (L - 3 \cdot H) + 1$$

$$\alpha = 0,006 \cdot 100^{-0,8} \cdot (900 - 3 \cdot 100) + 1 = 1,0904 \quad [-]$$

Le coût de base de l'aménagement est identique à celui du cas précédent (même puissance, même chute nette), donc $C_1 = 1'141'077,--$ [Frs]

Coût total de l'aménagement

$$C = \alpha \cdot C_1 = 1,0904 \cdot 1'141'077 = 1'244'230,-- \quad [\text{Frs}]$$

Prix de revient du kWh

$$r = 0,02 \cdot P^{-1} \cdot (a \cdot C + e) \quad [\text{ct/kWh}]$$

avec $e = 900 \cdot P^{0,6} = 21'620,--$ (comme précédemment) [Frs]

$$r = 0,02 \cdot 200^{-1} \cdot (0,0767 \cdot 1'244'230 + 21'620) = 11,7 \quad [\text{ct/kWh}]$$

Observation finale

Rappelons que les formulations ci-dessus résultent de la recherche des paramètres permettant de déterminer rapidement, par calcul ou par lecture des graphiques, le coût d'un petit aménagement hydro-électrique et le prix de revient du kWh, à partir de données statistiques d'aménagements réalisés récemment en Suisse.

Il suffit de connaître les trois grandeurs fondamentales qui caractérisent tout aménagement hydro-électrique :

- Hauteur de chute nette H ou dénivellation ΔZ (m)
- Puissance électrique maximale P (kW) ou énergie produite annuellement E (kW)
- Longueur L de la conduite forcée (m).

La fiabilité des prévisions sera progressivement améliorée par ajustement des divers paramètres de la synthèse, sur la base des décomptes détaillés et complets de la construction des nouveaux aménagements que leurs constructeurs voudront bien communiquer à l'auteur.