



FAQ
"Frequently Asked Questions"
ou
Questions souvent posées sur la petite
hydroélectricité (PH)



Produit par MHylab (Suisse) dans le cadre du groupe ingénierie du contrat européen du
TNSHP- Commission Européenne (NNE5/2001/886.)

Les partenaires suisses sont financés par le Secrétariat d'Etat à l'Education et à la Recherche
(SER) dans le projet 02/0007.

Ce document a été préparé dans le cadre du projet FP5, du réseau thématique sur la petite hydraulique, avec le soutien de la Direction Européenne pour le Transport et l'Energie et l'Office Fédéral suisse de la Science et de l'Education, par:

- ESHA, European Small Hydropower Association
- MHyLab, Fondation du laboratoire de mini-hydraulique de Montcherand, Suisse
- ÖVFK, Österreichischer Verein zur Förderung von Kleinkraftwerken, Autriche
- SERO, Sverige Energiföreningars RiksOrganisation, Suède
- EPFL-LCH, Laboratoire de constructions hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

1	GENERALITES	6
1.1	Qu'est-ce que la petite hydraulique ou petite hydroélectricité (PH)?	6
1.2	Quelle est la limite de puissance entre la petite et la grande hydraulique?	6
1.3	Pourquoi la petite hydraulique devrait être distinguée de l'hydraulique traditionnelle ou grande hydraulique?	6
1.4	Quels sont les principaux avantages de la petite hydraulique?	6
1.5	Quelle est l'expérience de la PH?	7
1.6	Y a-t-il un nouvel intérêt pour la PH?	8
1.7	Quels types de potentiel existe-t-il pour les centrales en PH?	8
1.7.1	Comment l'eau potable pourrait-elle être un potentiel intéressant pour la PH	8
1.7.2	L'eau est-elle toujours potable après avoir été turbinée?	9
1.7.3	Comment l'eau usée pourrait-elle être un potentiel intéressant pour la PH?	9
1.8	Quelques exemples concrets d'une bonne intégration de petites centrales hydrauliques (PCH)?	9
1.9	Quelle est la situation de la petite hydroélectricité en Europe?	10
1.10	Quels sont les principaux obstacles au développement de la PH en Europe?	11
1.11	La PH est-elle intéressante pour les pays en voie de développement?	12
1.11.1	La PH est-elle intéressante pour les pays en voie de développement en terme de géopolitique, d'éthique et d'environnement?	12
1.11.2	La PH est-elle financièrement abordable pour les pays en voie de développement?	12
1.12	Quel est le potentiel restant pour la PH?	13
1.12.1	En Europe?	13
1.12.2	Dans le monde?	13
1.13	Quels sont les objectifs de la petite hydroélectricité en Europe?	14
1.14	Comment construire un projet de petite centrale hydraulique?	14
2	ENVIRONNEMENT	15
2.1	La petite hydroélectricité peut-elle être considérée comme une énergie propre?	15
2.2	Comment l'impact environnemental local d'une petite centrale hydroélectrique peut-il être réduit?	15
2.3	De combien un GWh hydroélectrique réduit les émissions de CO ₂ ?	15
2.4	Qu'est-ce qui arrive à l'eau qui a été utilisée pour la production d'électricité?	15
2.5	Qu'arrive-t-il aux poissons quand une petite centrale hydraulique est installée sur un cours d'eau?	16
2.6	Qu'est-ce que le débit résiduel ou débit réservé?	16
2.6.1	Comment le débit résiduel peut-il être estimé?	16
2.6.2	Quel est le coût du débit résiduel?	16
2.7	Qu'est-ce qu'un système de passe à poissons?	17
2.7.1	Quels sont les différents types de systèmes de passe à poissons?	17
2.7.2	En quoi consiste un système de passe à poissons?	18
2.7.3	Quelle est la quantité d'eau utilisée pour qu'un système de passe à poissons fonctionne?	18
2.7.4	Quel est le coût de construction et d'exploitation d'un système de passe à poissons?	18
3	TECHNIQUES	19

3.1	Comment les petites centrales hydrauliques produisent-elles de l'électricité?	19
3.2	Quelle est la différence entre la chute brute et la chute nette?	19
3.2.1	Comment la chute brute peut-elle être mesurée?	19
3.3	Jusqu'à combien peut s'élever le rendement énergétique d'une petite centrale hydraulique?	19
3.4	Comment estimer l'énergie électrique générée?	20
3.5	Quelle est la différence entre le rendement et la puissance?	20
3.6	Quelle est la puissance moyenne d'une petite turbine?	20
3.7	Comment estimer la puissance hydraulique?	21
3.8	Les petites centrales hydrauliques peuvent-elles produire de l'électricité de pointe?	21
3.9	Quelles sont les dimensions moyennes d'une petite centrale hydroélectrique?	21
3.10	Comment choisir le nombre de turbines à installer pour une même centrale?	21
3.11	Y a-t-il différents types de petites turbines?	21
3.11.1	Quelles sont leurs principales caractéristiques?	22
3.11.1.1	Quelles sont les principales caractéristiques d'une turbine Pelton?	22
3.11.1.2	Quelles sont les principales caractéristiques d'une turbine axiale (telle que la Kaplan)?	23
3.11.1.3	Quelles sont les principales caractéristiques d'une turbine Francis?	24
3.12	Qu'est-ce qu'un distributeur?	25
3.13	Quelle est la différence entre une turbine à action et une à réaction?	25
3.14	Quel est le meilleur matériau pour une roue?	25
3.15	Qu'est-ce que la systématisation?	25
3.16	Qu'est-ce que l'énergie hydraulique massique d'une machine?	25
3.17	Qu'est-ce qu'une courbe des débits classés?	25
3.18	Comment est mesuré le débit?	26
3.19	Qu'est-ce que la perte de charge?	26
3.19.1	Comment agit une conduite forcée sur la perte de charge?	26
3.20	Qu'est-ce que la cavitation?	27
3.20.1	Comment le phénomène de cavitation peut-il être évité?	28
4	<i>ASPECTS POLITIQUES</i>	29
4.1	Quel est l'objectif du Livre Blanc pour la petite hydroélectricité?	29
4.2	Quel est l'objectif de la Directive 2001/77/EC, "Promotion de l'Electricité Produite issue des Sources d'Energies Renouvelables" (Directive E-SER)?	29
4.3	Comment le secteur européen de la petite hydroélectricité est-il interconnecté?	29
4.4	Quelles sont les principales mesures de soutien pour les énergies renouvelables, en général, et pour la petite hydroélectricité, en particulier?	30
4.5	Quelles sont les mesures complémentaires de soutien pour les énergies renouvelables en général et pour la petite hydroélectricité en particulier?	31
4.6	Où trouver des données hydrologiques?	31
5	<i>ASPECTS ECONOMIQUES</i>	32
5.1	Combien peut-on gagner avec une petite centrale hydraulique?	32
5.2	Combien coûte un projet de petite centrale?	32

5.3	Qu'est-ce qu'un temps de retour acceptable? _____	33
5.4	Combien y a-t-il d'usines de petite hydroélectricité en Europe? _____	33
5.5	Quels sont les chiffres actuels de l'emploi et les perspectives futures? _____	33
6	<i>Glossaire</i> _____	34
7	<i>Bibliographie</i> _____	34

1 GENERALITES

1.1 Qu'est-ce que la petite hydraulique ou petite hydroélectricité (PH)?

Dans le terme "petite hydraulique", le mot "petite" signifie en dessous de 10 MW si on suit la définition de l'Union Européenne.

Une installation de petite hydraulique génère de l'électricité en convertissant la puissance disponible de l'eau du cours d'eau. Une telle installation est en général au fil de l'eau, sans réservoir d'accumulation. L'objectif d'une installation de petite hydraulique est de convertir l'énergie d'un volume d'eau, coulant dans un cours d'eau avec une certaine dénivellation (appelée la chute), en énergie électrique au niveau de la centrale électrique.

Il est à noter que la puissance de l'installation est proportionnelle au débit et à la chute (voir la question 3.7 Comment estimer la puissance hydraulique?).

1.2 Quelle est la limite de puissance entre la petite et la grande hydraulique?

Dans l'Union Européenne, la limite des 10 MW est considérée être celle de la petite hydraulique, même si les capacités des petites centrales varient entre 1.5 et 12 MW.

Mais ce critère de puissance n'est pas suffisant pour définir la différence entre la petite et la grande hydraulique.

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 1.2 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

1.3 Pourquoi la petite hydraulique devrait être distinguée de l'hydraulique traditionnelle ou grande hydraulique?

La petite hydraulique devrait être distinguée de l'hydraulique traditionnelle, pour la simple raison qu'une petite centrale ne peut pas être considérée comme la réduction d'une grande. En effet, un tel processus conduirait à une détérioration excessive des performances en cas de simplification non contrôlée de la géométrie de la turbine ou à une construction onéreuse, compliquée et d'une exploitation délicate.

Au contraire, la géométrie d'une turbine de quelques kW ne peut pas être extrapolée à partir de celle d'une turbine de 10 ou 100 MW. Dans les deux cas, les contraintes sont différentes. Par conséquent, il est essentiel de développer et de produire des équipements spécifiques à la petite hydraulique afin de garantir les exigences fondamentales de simplicité, haut rendement énergétique, fiabilité maximale et maintenance aisée.

En conclusion, une petite centrale pourrait être définie comme une centrale qui, pour des raisons techniques ou économiques, ne peut pas être la réduction géométrique d'une grande.

1.4 Quels sont les principaux avantages de la petite hydraulique?

La petite hydraulique contribue au développement durable, puisque, tout en étant économiquement rentable, elle respecte l'environnement (pas d'émissions de gaz à effet de serre) et elle permet la production d'électricité décentralisée pour le développement des populations isolées. De plus, d'autres avantages peuvent être soulignés dans les domaines suivants:

- Environnement:

- La petite hydraulique est une énergie propre et renouvelable (le combustible est l'eau, eau qui n'est pas consommée lors du procédé de génération d'électricité)
- les petites centrales hydrauliques, quand elles sont bien équipées, ne sont pas un obstacle pour la migration des poissons.
- Les petites centrales hydrauliques assurent un débit minimum en aval appelé débit réservé ou débit résiduel qui garantit la vie piscicole.
- Les installations de petite hydraulique contribuent à la maintenance des lits des rivières en permettant de récupérer les déchets qui s'écoulent dans le flot de la rivière.
- Economie:
 - L'actuelle technologie des petites centrales hydrauliques facilite la restauration et/ou la remise en service des anciennes petites centrales.
 - La petite hydraulique mobilise des ressources et contribue au développement économique des populations isolées en assurant une énergie autonome et fiable sur le long terme
 - Les petites centrales hydrauliques créent des emplois à un niveau local pour la surveillance de la centrale en période de fonctionnement.
 - Les petites centrales hydrauliques assurent un haut ratio de temps de retour énergétique. Pour chaque système générateur de puissance, le temps de retour énergétique est le ratio de l'énergie produite pendant sa durée de vie standard divisée par l'énergie requise pour construire, entretenir et alimenter l'équipement générateur. Si un système a un ratio de temps de retour bas, cela signifie que beaucoup d'énergie est nécessaire.
- Distribution d'électricité:
 - L'introduction de petites centrales hydrauliques crée un système électrique plus diversifié.
 - Comme la petite hydraulique est située à proximité des consommateurs, les pertes par transmission peuvent être réduites et les lignes de transmission électriques sont allégées.
- Logistique
 - Les installations de petite hydraulique aident à l'inventaire des indicateurs hydrologiques.

1.5 Quelle est l'expérience de la PH?

L'histoire de la PH est caractérisée par deux périodes principales, selon l'usage de l'énergie hydraulique:

- première période: quand l'énergie hydraulique sert à générer de l'énergie mécanique
- seconde période: quand l'énergie hydraulique sert à générer l'énergie électrique

Les premières machines hydrauliques sont apparues il y a 2'200 ans, probablement presque en même temps en Chine et dans le bassin méditerranéen. En Europe, avant l'extension générale du réseau électrique, environ une dizaine de milliers de petites installations hydrauliques existaient et été utilisées dans les scieries, les tanneries, les usines de pâte et papier, les ateliers mécaniques, etc. Et puis, face au développement de l'électricité, les turbines hydrauliques ont été adaptées pour ce nouvel usage de l'énergie.

Il est à noter que les turbines actuelles n'ont rien à voir avec les anciennes roues à eau et ont été beaucoup améliorées afin d'atteindre:

- de hautes performances en matière d'efficacité (niveau et étendue de la plage de fonctionnement) et de cavitation,
- géométrie simplifiée,
- solutions techniques pour garantir une haute fiabilité.

1.6 Y a-t-il un nouvel intérêt pour la PH?

Alors que le nombre de petites centrales hydrauliques a diminué énormément depuis le milieu du 20^{ème} siècle, de nos jours un nouvel intérêt important peut être observé. Plusieurs raisons peuvent expliquer un tel renouveau, comme les avantages de la PH, explicités dans la question 1.4 et aussi:

- la crise pétrolière et la forte augmentation du prix du fuel durant les années 70 ;
- la possibilité de réaliser des installations avancées techniquement, plus fiables, et efficaces avec une maintenance simple ;
- la sensibilité grandissante en matière d'écologie des populations de plus en plus favorables aux énergies renouvelables, comme les encouragements des autorités. Des dispositions légales obligent les distributeurs d'électricité à acheter l'énergie issue des renouvelables, même si cette production n'est pas stable. De plus, pour la PH, le prix d'achat est garanti afin d'encourager leur développement dans chaque pays européen.

1.7 Quels types de potentiel existe-t-il pour les centrales en PH?

Des potentiels intéressants subsistent pour la PH, et peuvent être classés en deux catégories:

1. réhabilitation,
2. nouvelles constructions, comme:
 - 2.1. les constructions habituelles sur les cours d'eau
 - 2.2. l'utilisation des réseaux d'eau:
 - d'irrigation
 - d'eau potable
 - d'eaux usées

Le développement de l'utilisation des réseaux d'eau est fortement recommandé, comme jusqu'à présent quelques sites seulement ont été équipés. Les principaux avantages, comparés aux autres types de potentiel sont:

- moins de contraintes administratives
- coûts plus bas, en général
- valorisation de l'énergie, actuellement perdue.

1.7.1 Comment l'eau potable pourrait-elle être un potentiel intéressant pour la PH

Dans les régions montagneuses, il y a souvent une forte dénivellation entre les captations d'eau et les consommateurs. Ceci résulte en une pression si importante pour le réseau de distribution qu'elle doit être perdue dans un bassin de rétention.

Au lieu d'utiliser un brise-charge, il est souvent techniquement et financièrement possible d'utiliser cette pression dans de petites turbines Pelton. Ainsi, l'eau est utilisée de façon optimale, puisqu'elle génère de l'énergie avant d'être utilisée. De plus, aucun impact environnemental supplémentaire n'est créé, comme les captages d'eau, les bassins et les conduites doivent être dans tous les cas réalisés afin de satisfaire aux besoins en eau de la

population. Et, aucun autre droit d'eau spécial n'est nécessaire, ce qui permet une poursuite rapide des projets.

1.7.2 L'eau est-elle toujours potable après avoir été turbinée?

Si nous considérons une turbine installée sur un réseau d'eau potable, nous pouvons nous demander quelle est l'hygiène d'un tel procédé. En fait, il s'agit d'être attentif à la différence entre le réseau d'eau potable traditionnel et un réseau d'eau potable turbiné.

- au niveau des équipements: un réseau d'eau potable turbinée est composé des mêmes équipements que l'habituel réseau d'eau potable, avec en plus: une turbine, un régulateur de débit et un bypass automatique,
- au niveau des entités en contact avec l'eau potable: le même matériau est utilisé: essentiellement de l'acier inoxydable, de plus, pas une goutte d'huile n'entre en contact avec l'eau.

De plus, dans le but de garantir un minimum de [perte de charge](#) dans les conduites, les parois des conduites doivent être protégées de tout dépôt.

Et, le turbinage n'élève pas la température de l'eau puisque l'énergie récupérée est transformée en énergie cinétique, puis en énergie mécanique et enfin en électricité.

De plus, le turbinage de l'eau augmente son oxygénation.

Pour conclure, le réseau d'eau potable turbinée n'implique pas plus de risques sanitaires que le réseau d'eau potable traditionnel.

1.7.3 Comment l'eau usée pourrait-elle être un potentiel intéressant pour la PH?

Deux possibilités de turbinage des eaux usées existent:

1. La turbine peut se trouver avant la station d'épuration. Dans ce cas, le réseau des eaux usées d'une agglomération située en altitude est relié à une chambre de filtrage et un bassin de rétention. Les eaux usées sont ensuite dirigées à travers la conduite forcée jusqu'à la station d'épuration située dans la vallée où elles sont turbinées avant d'être traitées.
2. la turbine peut se trouver après la station d'épuration. Dans ce cas, la station d'épuration est située en altitude, et l'eau traitée coule dans une conduite forcée à travers la vallée jusqu'à la turbine, avant d'être rejetée dans un lac ou une rivière.

De plus, il faut souligner le problème des dépôts sur les parois de la conduite forcée qui augmentent la [perte de charge](#): une autre raison de garantir un dimensionnement optimal.

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 1.3 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

1.8 Quelques exemples concrets d'une bonne intégration de petites centrales hydrauliques (PCH)?

- PCH à Farebout, France: l'utilisation de turbines d'aspiration et l'injection d'air dans la turbine impliquent l'oxygénation de l'eau de la rivière, ce qui tend à améliorer la qualité de l'eau en aval de la PCH.
- PCH à Steinen, Allemagne: la construction d'une turbine hydro-électrique sous la rivière, dans une centrale totalement immergée à l'intérieur d'un quartier résidentiel a l'avantage d'assurer une production d'électricité optimale, économique et non polluante.

- PCH sur la rivière Louros, Grèce: des biotopes ont été créés grâce à la combinaison de solutions techniques et architecturales.
- [Les passes à poissons](#) sont de plus en plus utilisées dans les pays européens. Les impacts sur la migration des poissons peuvent être minimisés en utilisant des passes à poissons pour permettre la migration vers l'amont et en installant des grilles ou toute autre méthode de diversion à travers les prises d'eau et le canal de fuite pour empêcher l'entrée des poissons dans la turbine.

1.9 Quelle est la situation de la petite hydroélectricité en Europe?

Aujourd'hui, l'hydraulique couvre 84 % de l'électricité de source renouvelable en Europe (UE-25) et pour 13 % de la production totale d'électricité dans l'UE-15¹.

En 2001, dans l'UE-15, la petite hydroélectricité a contribué à:

- 2 % de la production totale d'électricité
- 9 % de la production d'électricité de source renouvelable
- 4 % de la production primaire d'énergie renouvelable.

Cette contribution est similaire à celle de l'éolien et de inférieure à celle de la biomasse.

Actuellement, dans la plupart des pays, l'hydraulique est une source d'énergie prédominante dans l'électricité de source renouvelable. La petite hydroélectricité compte pour approximativement 4.6 % de toute l'hydraulique dans les nouveaux Etats Membres (UE-10 nouveaux²) et dans les États candidats (CC³). Aucune autre énergie renouvelable (éolien, biomasse, photovoltaïque) ne peut atteindre les potentiels de la petite hydraulique dans ces pays.

Dans l'UE-25, environ 16'800 petites centrales hydrauliques fonctionnent avec une capacité totale installée de 11 GW, alors que la production totale est de 41 TWh par an¹.

Selon les données de Eurostat pour 2002, l'Italie contribue à environ 21 % de la capacité totale installée en petite hydraulique dans l'UE-25, suivie par la France (17 %) et l'Espagne (16 %). La Pologne et la République Tchèque, les deux avec 2 % de la capacité totale installée de la petite hydraulique de l'UE-25 sont les leaders pour les Nouveaux Etats Membres.

Pour les états candidats, la Roumanie et la Turquie représentent environ 25 % et 15 % respectivement de la capacité totale installée en petite hydraulique en 2002 pour l'UE-10 et les Etats candidats.

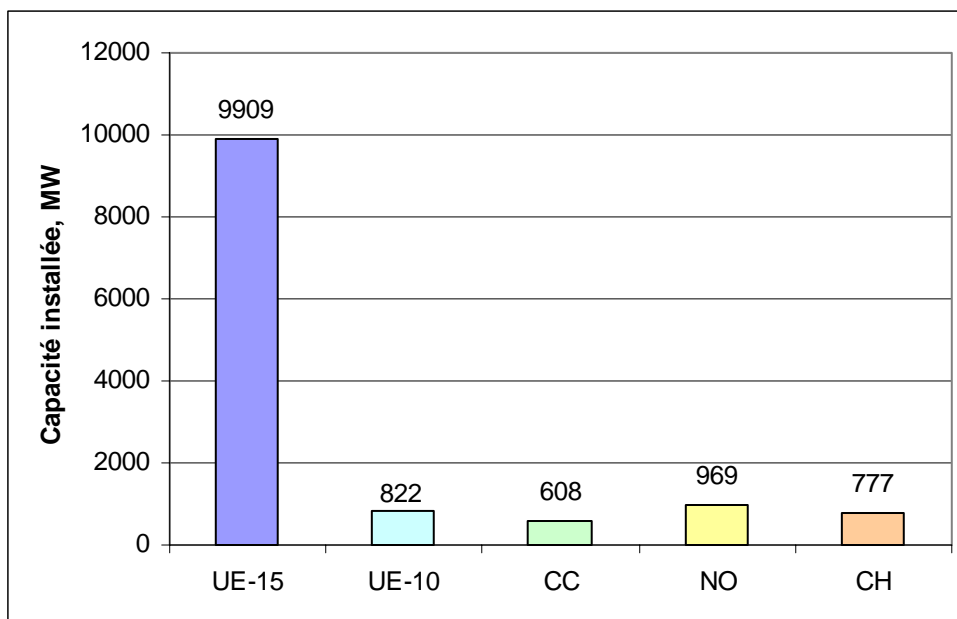
Autres chiffres de la PH:

- **5-15 cts d'euros/kWh**: moyenne européenne pour les coûts de production de l'électricité issue de la PH
- **€1 200 -3 500/ kW**: moyenne Européenne des coûts d'investissement de la PH
- **6'000 emplois** en PH (emplois directs et indirects) en 2002.

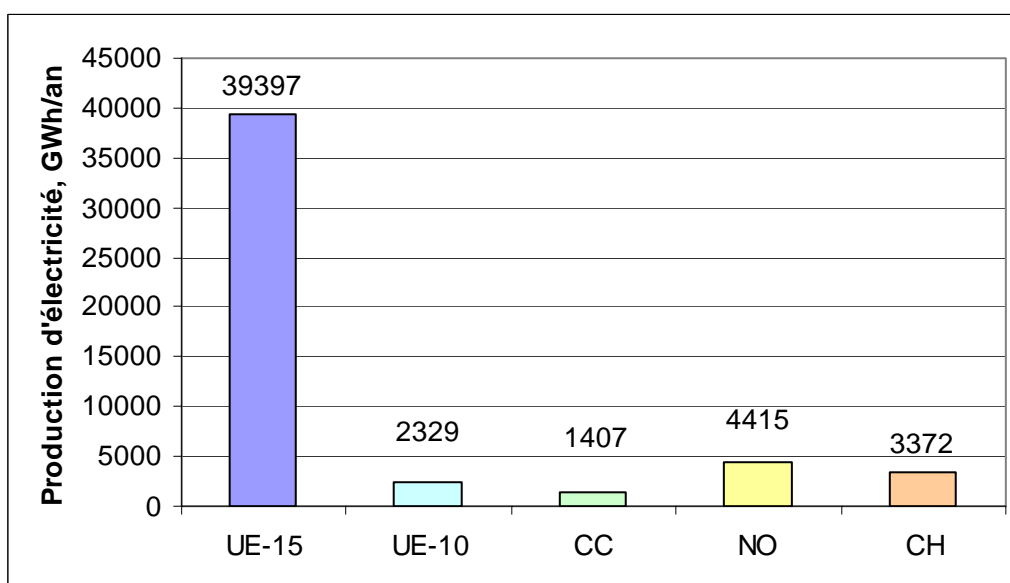
¹ UE-15: Portugal, Suède, Allemagne, France, Italie, Luxembourg, Grèce, Espagne, Finlande, Belgique, Les Pays Bas, Danemark, Autriche, Irlande, Royaume-Uni

² UE-10nouveaux: le 1^{er} mai 2004 8 pays de l'Europe de l'Est et 2 pays méditerranéens ont rejoint l'Union Européenne: la République Tchèque, Chypre, l'Estonie, la Hongrie, la Lettonie, la Lituanie, Maltes, la Pologne, la Slovaquie et la Slovénie

³ CC: la Bulgarie, la Roumanie et la Turquie sont les États candidats



Capacité installée en petite hydroélectricité (MW) dans l'UE-25, les états candidats (CC) et pour la Norvège (NO) et la Suisse (CH) (limite officielle pour la PH: 10 MW)



Production d'électricité de la petite hydraulique (GWh/an) dans l'UE-25, les états candidats (CC) et pour la Norvège (NO) et la Suisse (CH) (limite officielle pour la PH: 10 MW)

1.10 Quels sont les principaux obstacles au développement de la PH en Europe?

Actuellement, de nombreux obstacles institutionnels freinent encore le développement de la PH, comme:

- les difficultés à obtenir la permission de soutirer de l'eau des rivières ;
- les perceptions qu'une centrale hydraulique peut affecter de façon défavorable la pêche;
- les difficultés à obtenir des connections au réseau électrique abordables (mais cette situation est en train de s'arranger).

Dans le même temps, la pression de quelques groupes environnementaux qui sont opposés à la PH en raison de ses impacts environnementaux locaux sur l'écosystème de la rivière, freine les progrès dans de nombreux pays développés. Néanmoins, une nouvelle technologie et des méthodes améliorées pour le fonctionnement des PCH réduisent de plus en plus les impacts environnementaux locaux en intégrant des solutions environnementales et la population locale dans les phases de planning, de conception et de gestion de l'aménagement.

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § A.3 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

1.11 La PH est-elle intéressante pour les pays en voie de développement?

1.11.1 La PH est-elle intéressante pour les pays en voie de développement en terme de géopolitique, d'éthique et d'environnement?

Afin de savoir si une petite turbine hydraulique est un apport énergétique intéressant dans les pays en voie de développement, les caractéristiques suivantes devraient être considérées:

- La ressource énergétique est indigène et n'a pas à être achetée: la dépendance énergétique est réduite.
- En fonction des potentiels hydrauliques qui peuvent être géographiquement étendus, les petites centrales peuvent être décentralisées et répondre aux besoins énergétiques des villages isolés.
- La PH demande rarement la construction d'un grand barrage
- Grâce à la petite taille des PCH, la PH permet la participation des populations locales de la construction à la phase de fonctionnement, en passant par la maintenance et la gestion.
- Une centrale hydraulique ne génère pas d'émissions atmosphériques, ni de déchets solides ni de déchets liquides.
- Dans le cas où la construction et le fonctionnement de la PCH respectent les dernières technologies en terme de réduction des impacts environnementaux, l'environnement est préservé.
- L'électrification peut devenir possible, où la construction d'un réseau de distribution aurait requis beaucoup plus de temps et d'argent.

1.11.2 La PH est-elle financièrement abordable pour les pays en voie de développement?

Afin de savoir si la PH est financièrement abordable pour les pays en voie de développement, les caractéristiques suivantes devraient être considérées:

- la ressource est indigène
- la décentralisation entraîne de faibles coûts de distribution
- grâce à la petite taille des PCH, les coûts de génie civil peuvent être réduits
- les PCH ont une longue durée de vie (> 25 ans) comparée, par exemple, aux moteurs à essence

Note: le financement par des fonds internationaux peut être demandé pour de grands projets de développement.

1.12 Quel est le potentiel restant pour la PH?

1.12.1 En Europe?

La PH a un potentiel énorme et encore non utilisé, qui permettra à l'industrie de la PH en Europe d'augmenter ses activités en développant de nouvelles PCH et en restaurant d'anciennes. En effet, le meilleur marché interne pour les constructeurs européens en général est de restaurer les centrales existantes. De plus, en dehors de l'Europe, il a de nouvelles opportunités d'exportation et de transfert techniques, ce qui offre de bonnes perspectives pour les constructeurs européens. Et on peut ajouter qu'une croissance économique avec une augmentation des besoins énergétiques conduira à la progression de la PH.

Actuellement, le potentiel restant économiquement réalisable s'élève:

- à environ 20 TWh/an pour l'Union Européenne des 15 (UE-15)ⁱⁱ
- à environ 26 TWh/an pour les Nouveaux Etats Membres (UE-10) et les États candidats (CC), dont la majorité (soit environ 80 % ou 19 TWh/an) se trouve en Turquie, alors que la Pologne et la Roumanie arrivent en second, avec un potentiel 6 à 10 fois inférieur à celui de la Turquie (le troisième groupe est composé de la République Tchèque, de la Slovénie, de la Bulgarie et de la Slovaquie).

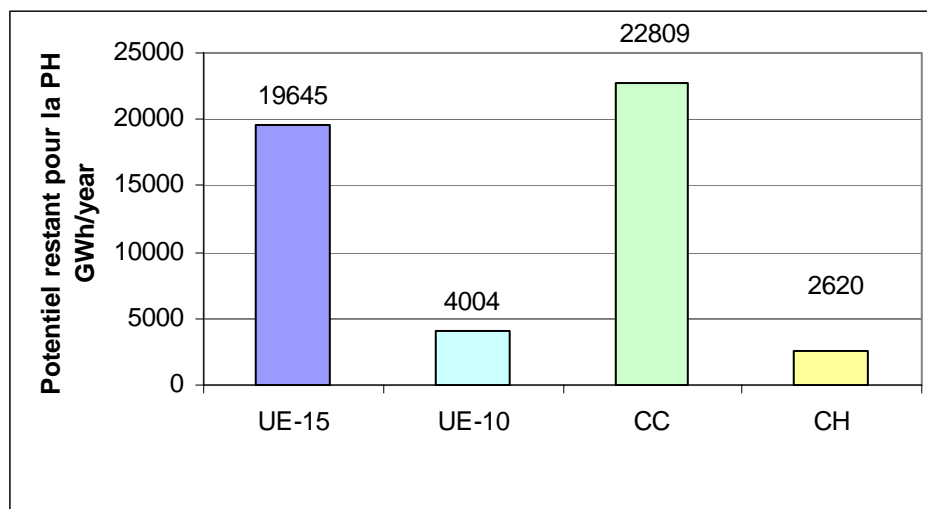


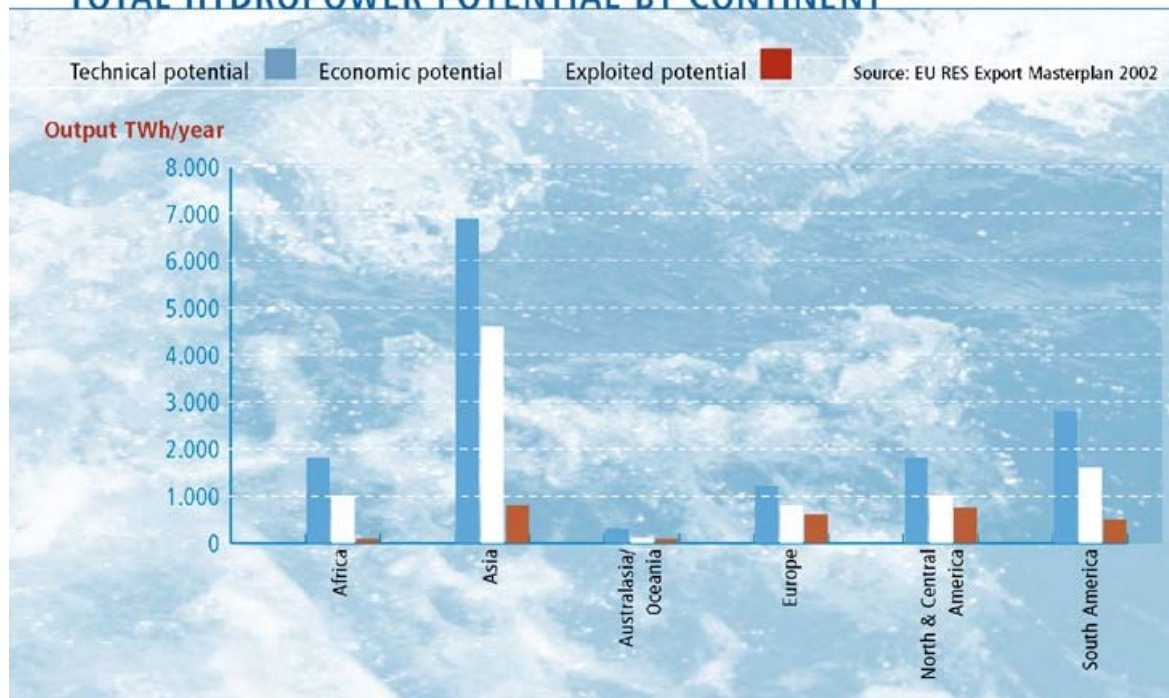
Figure 1. Potentiel restant économiquement réalisable pour la petite hydroélectricité dans l'UE-25, les états candidats (CC) et la Suisse (CH) (limite officielle pour la petite hydroélectricité: 10 MW)

1.12.2 Dans le monde?

La figure suivante montre les potentiels pour tout le secteur de l'hydraulique (petite et grande hydraulique). Il est ainsi projeté que l'Asie (et surtout la Chine et l'Inde) devienne le chef de file de l'hydraulique.

En ce qui concerne la PH, le potentiel restant pourrait être estimé à environ 300 TWh/an.

TOTAL HYDROPOWER POTENTIAL BY CONTINENT



Potentiel hydraulique total (petite & grande hydraulique réunie) par continent (potentiel technique, économique et exploité)

1.13 Quels sont les objectifs de la petite hydroélectricité en Europe?

- **33%**: objectif de l'UE-15 pour les énergies renouvelables dans la contribution des énergies renouvelables dans la production électrique de 2010.
- **22%**: objectif pour l'électricité renouvelable de l'UE-15 fixé par la [directive européenne E-SER](#) en 2010. Pour la PH, cet objectif implique d'atteindre en 2010:
 - **14 GW** de capacité installée,
 - **55 TWh** d'électricité générée.

1.14 Comment construire un projet de petite centrale hydraulique?

Une fois le site repéré, les premières bases d'un projet de centrale hydraulique sont la connaissance de la dénivellation disponible (sachant qu'il faut chercher à mettre la turbine le plus bas possible par rapport au plan d'eau amont) et les débits (minimal, moyen, maximal, moyennes mensuelles, journalières, sur une année, sur 10 ans) – plus il y a de données sur les débits, plus la turbine sera adaptée au site. Ces premières données permettront de calculer la puissance hydraulique, les premières caractéristiques de la turbine et de faire un premier calcul économique pour avoir une idée de la rentabilité du projet.

Une check list, qui reprend toutes les étapes pour monter un projet de petite centrale hydraulique a été créée par le Réseau Thématique sur la petite hydroélectricité, et est disponible sur Internetⁱⁱⁱ.

Note: en général, d'un point de vue administratif et politique, il pourrait être plus aisé de construire une petite centrale hydraulique sur un réseau d'eau existant (eau potable, eaux usées, ...) que sur une rivière.

2 ENVIRONNEMENT

Pour plus de détails, se référer au chapitre § 7 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité, et à la brochure sur les aspects environnementaux des petites centrales hydrauliques.

2.1 La petite hydroélectricité peut-elle être considérée comme une énergie propre?

Etant donné que la production d'hydroélectricité n'émet pas de substances polluantes, l'électricité d'une petite centrale hydraulique peut être considérée comme propre. Il est à noter qu'un soin spécial doit être pris pour limiter les impacts environnementaux locaux (écosystème du cours d'eau) dus à l'installation et à l'exploitation de la turbine.

De plus, des lois, telles que celles sur l'environnement, l'énergie, la protection des eaux, la pêche, garantissent que l'écologie est respectée.

2.2 Comment l'impact environnemental local d'une petite centrale hydroélectrique peut-il être réduit?

Dans le but de limiter l'impact environnemental d'une petite centrale hydroélectrique, il convient de suivre des règles et méthodes de construction et d'exploitation, telles que:

- la création de [systèmes pour traverser les barrages](#) pour les poissons et les invertébrés.
- le respect d'un [débit résiduel \(ou débit réservé\)](#) fixe dans la section by-passée.
- Adaptations de la section bypassée de manière à assurer une vitesse satisfaisante.
- Vidange du barrage évitée pendant les périodes de basses eaux.
- Création d'espaces de vie dans les réservoirs et les bassins.

2.3 De combien un GWh hydroélectrique réduit les émissions de CO₂?

1 GWh (ce qui correspond, par exemple, à la consommation électrique moyenne de 220 ménages suisses) d'électricité mixte européenne remplacé par 1 GWh issu d'une source hydraulique conduit à une réduction des émissions de CO₂ de 481 tonnes.

2.4 Qu'est-ce qui arrive à l'eau qui a été utilisée pour la production d'électricité?

Quand elle sort de la turbine, l'eau, qui a été soutirée de la rivière, retourne à la rivière en aval du prélèvement. Pour la protection de l'écosystème, seulement une partie de la rivière peut être prélevée, afin de maintenir un niveau d'eau correct dans la rivière pour la faune et la flore et en particulier pour les poissons. Ce débit qui ne peut être utilisé pour la production d'électricité est appelé [débit résiduel ou débit réservé](#).

De plus, on peut noter que l'eau qui sort de la turbine pour retourner à la rivière n'est pas moins propre que lorsqu'elle y est entrée. Grâce à ce fait, il est possible de turbiner l'eau potable, car l'eau est toujours potable après avoir été turbinée.

Voir 1.7.2 L'eau est-elle toujours potable après avoir été turbinée?

2.5 Qu'arrive-t-il aux poissons quand une petite centrale hydraulique est installée sur un cours d'eau?

Une centrale hydraulique est équipée de systèmes spéciaux pour protéger les poissons, tels que:

- des grilles à l'entrée du prélèvement d'eau afin d'empêcher les poissons d'entrer dans la conduite forcée,
- des [systèmes de passe à poissons](#)

De plus, il est à noter que toute l'eau de la rivière ne va pas dans la turbine, de l'eau reste dans la rivière, dont le débit est fixé par les lois. Le débit d'eau minimal qui doit rester dans le lit de la rivière et qui ne peut être turbiné, est appelé le [débit résiduel ou débit réservé](#).

2.6 Qu'est-ce que le débit résiduel ou débit réservé?

Le débit réservé, également nommé débit résiduel, est le débit d'eau qui reste dans le lit du cours d'eau après le prélèvement pour la turbine et avant le retour de l'eau turbinée. En effet, l'eau est prélevée du cours d'eau, conduite à la turbine et turbinée avant de retourner dans le lit du cours d'eau, mais en aval du prélèvement.

Le débit résiduel a pour but :

- d'assurer la survie des poissons,
- d'alimenter les eaux souterraines,
- de favoriser la diversité des espèces,
- de valoriser le paysage,
- de créer des espaces d'alluvions,
- d'assurer la propreté des cours d'eau.

2.6.1 Comment le débit résiduel peut-il être estimé?

De nombreuses formules existent, qui peuvent être réparties en différents groupes :

- Le groupe le plus connu estime les valeurs selon les données hydrologiques. L'estimation d'un débit réservé égal à 5-10 % du débit moyen est très répandue.
- Une autre approximation bien connue est basée sur la largeur du lit de la rivière et propose un débit résiduel de 30-40 l/s par mètre.
- Une autre approche utilise la taille du captage et donne une première estimation du débit réservé à 2-3 l/s par km². La valeur finale devrait être trouvée par des tests in situ et la mesure de différents paramètres tels que la profondeur et la vitesse du flux.

2.6.2 Quel est le coût du débit résiduel?

Le coût dû au fait d'assurer un débit résiduel peut être estimé à partir de la formule suivante :

$$C = 0.001 \cdot \eta \cdot \rho \cdot Q_r \cdot g \cdot \Delta Z \cdot T \cdot t$$

C = coût annuel [€/an]

η = rendement global de la centrale [-]

ρ = masse volumique de l'eau \cong 1000 [kg/m³]

Q_r = débit résiduel ou débit réservé [m³/s]

g = accélération de la pesanteur \cong 9.8 [m/s²]

ΔZ = dénivellation entre le niveau amont de prélèvement d'eau et le niveau aval [m]

T = tarif [€/kWh]

t = heures de pleine charge pendant l'année
en général: t = 5'000

[heures/an]

[heures/an]

La formule peut être ramenée à :

$$C = 40'000. Q_r . H . T$$

Voir également la formule pour estimer l'énergie et la puissance électrique - questions 3.4 et 3.7

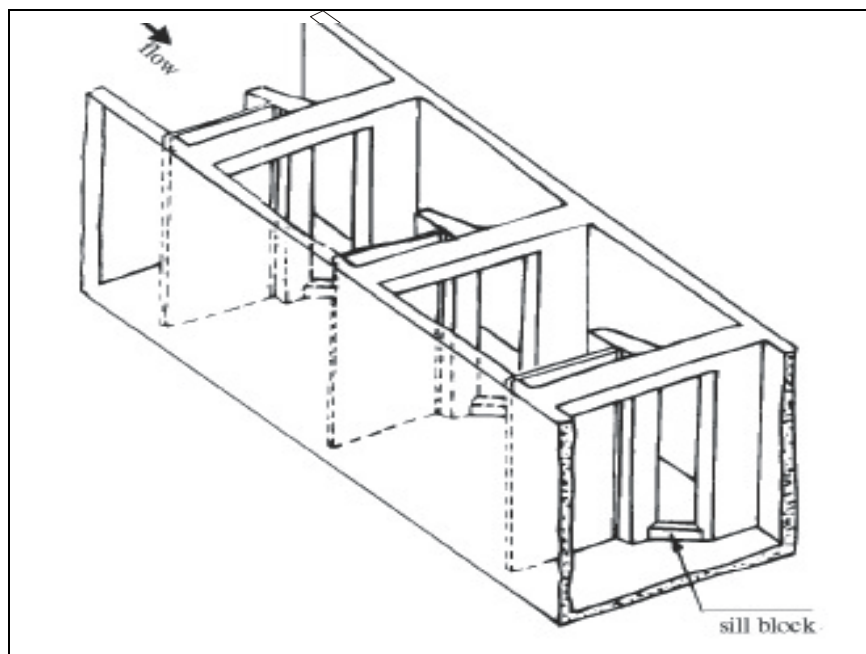
Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 7.4.3.2 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité, et d'autres publications de l'ESHA sur les débits réservés^{iv, v}.

2.7 Qu'est-ce qu'un système de passe à poissons?

Un système de passe à poissons est une construction technique qui vise à réduire l'interruption de la continuité de la rivière. Il connecte la région amont à celle en aval. Il est à noter que ces opérations ont besoin d'une certaine quantité d'eau.

2.7.1 Quels sont les différents types de systèmes de passe à poissons?

Il existe une grande quantité de systèmes de passe à poissons depuis les constructions plutôt techniques jusqu'à celles plutôt naturelles. Le système technique le plus utilisé est la passe à poissons munie de fentes verticales. Le ruisseau de type "naturel" sans aucune marche est représentatif des solutions naturelles. Néanmoins, il est à noter que le choix du système de passes à poisson à installer doit prendre en compte le type de rivière, l'espace disponible, les espèces de poissons concernés, et également du sens de la migration.



Passe à poissons munie de fentes verticales^{vi}



Passé à poissons de type naturel, écologique et efficace^{vii}

2.7.2 En quoi consiste un système de passe à poissons?

Un système de passe à poissons pour la migration vers l'amont rend la chute au niveau du seuil ou du barrage franchissable pour le poisson et assure la continuité de la rivière en tant qu'habitat pour la faune. En utilisant ce système de passe à poissons, les poissons peuvent migrer entre l'eau en haut et en bas du barrage ou seuil.

2.7.3 Quelle est la quantité d'eau utilisée pour qu'un système de passe à poissons fonctionne?

La quantité d'eau dépend de la taille et du type de système, qui lui-même dépend du cours d'eau. Plus le système est grand, plus la quantité d'eau nécessaire est grande. Une première estimation donne un débit d'eau utilisé pour le système égal à 1 à 5 % du débit moyen du cours d'eau, selon la taille du débit moyen. La décision finale devrait être prise suite à des tests in situ après la construction du système en mesurant les vitesses du flux, les turbulences, l'aération, etc.

2.7.4 Quel est le coût de construction et d'exploitation d'un système de passe à poissons?

Le coût d'un système de passe à poissons peut varier entre 1 et 10 % du coût total d'une petite centrale hydraulique. Plus les systèmes sont techniques, plus ils sont chers. Les simples ruisseaux de type "naturel" sont en général assez bon marché. Par conséquent, il est recommandé de mandater un professionnel expérimenté pour le travail de conception.

Pour plus de détails, se référer aux paragraphes § 7.4.3.2.6 et § 7.4.3.2.7 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3 TECHNIQUES

3.1 Comment les petites centrales hydrauliques produisent-elles de l'électricité?

Le principe de base de l'hydroélectricité est de transformer l'énergie de l'eau en énergie mécanique à travers une turbine et ensuite en énergie électrique grâce à un générateur.

L'eau peut être conduite d'un certain niveau à un niveau plus bas. Une [chute](#) est donc nécessaire pour que l'eau, dérivée à travers un canal ou une conduite (forcée ou non) jusqu'à la turbine, retourne à la rivière en aval.

Si la pression de l'eau a la possibilité de bouger un élément mécanique, alors ce mouvement implique la conversion de l'énergie potentielle de l'eau en énergie mécanique. Les turbines hydrauliques convertissent la force de l'eau en puissance mécanique, qui peut être utilisée pour faire fonctionner un générateur électrique.

Comment estimer l'énergie électrique générée est expliqué à la question 3.4.

3.2 Quelle est la différence entre la chute brute et la chute nette?

Généralement, la chute brute équivaut à la dénivellation entre la prise d'eau (niveau amont) et le niveau aval de l'eau (ΔZ), alors que la chute nette (H_n) est liée au débit et est définie comme l'[énergie hydraulique massique, \$gH\$](#) , divisée par la gravité g . Cette chute nette peut prendre en compte la [perte de charge](#) dans la conduite.

Note: quand le terme "chute" est employé sans adjectif, il veut souvent dire "chute brute".

3.2.1 Comment la chute brute peut-elle être mesurée?

La chute brute peut être mesurée en utilisant:

- un niveau de géomètre ou une mire,
- un clinomètre,
- un altimètre,
- ...

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 3.4.5 du "Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité".

3.3 Jusqu'à combien peut s'élever le rendement énergétique d'une petite centrale hydraulique?

Le rendement d'une petite turbine (le ratio de l'énergie électrique sur l'énergie hydraulique) peut atteindre 90 % ou plus pour autant que la turbine provienne d'un développement en laboratoire.

Chaque opérateur de centrale devrait demander au constructeur une garantie de rendement basée sur des développements en laboratoire. C'est le seul moyen d'être certain que la turbine fonctionnera correctement. La source des garanties devrait être connue, même pour les petites turbines hydrauliques.

3.4 Comment estimer l'énergie électrique générée?

L'énergie électrique générée peut être estimée grâce à l'équation suivante:

$$E = \eta \cdot \rho V \cdot g \cdot \Delta Z$$

E = énergie électrique générée annuellement par l'installation [J/an]

ρ = masse volumique $\cong 1000$ [kg/m³]

V = volume moyen annuel d'eau turbinée [m³/an]

selon la [courbe des débits classés](#),

g = accélération de la pesanteur $\cong 9.8$ [m/s²]

ΔZ = dénivellation entre le niveau amont du prélèvement d'eau [m]

et le niveau aval

η = rendement global, produit des rendements moyens de la conduite forcée η_p , de la turbine η_T , de l'éventuel multiplicateur de vitesse η_M , du générateur électrique η_G et de l'éventuel transformateur η_{Tr}

$$\eta = \eta_p \cdot \eta_T \cdot \eta_M \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tr} \quad [-]$$

Note: la conduite forcée est directement liée à [la perte de charge](#).

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 3.6 du "Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité".

3.5 Quelle est la différence entre le rendement et la puissance?

Le rendement global d'une installation est le ratio de l'électricité générée sur l'énergie hydraulique du site, c'est également le ratio de la puissance électrique sur la puissance hydraulique du site. Ce rendement n'a pas d'unité, et est souvent exprimé en pourcentage (%). C'est également le produit des rendements moyens de la conduite forcée η_p , de la turbine η_T , de l'éventuel multiplicateur de vitesse η_M , du générateur électrique η_G et de l'éventuel transformateur η_{Tr} (voir question 3.4).

La puissance d'une installation est le produit du rendement de l'installation par la puissance hydraulique disponible pour la turbine. Elle s'exprime en kW.

Le rendement et la puissance sont essentiels dans la réalisation d'un projet de petite hydroélectricité. La puissance électrique permettra d'estimer, grâce aux heures annuelles de fonctionnement, la quantité d'électricité produite annuellement. Le rendement, quant à lui, montre l'efficacité de l'installation, c'est-à-dire la quantité d'énergie hydraulique qui est perdue par une telle installation.

3.6 Quelle est la puissance moyenne d'une petite turbine?

Cette question n'a pas de véritable réponse, puisque la puissance d'une petite turbine peut varier de quelques kW à 10 MW (qui est la définition officielle de la limite entre la petite et la grande hydraulique). Mais, si on considère les petites turbines installées dans l'Union européenne (UE-25) en 2001, ce qui représente environ 11 GW pour 16'800 centrales, la puissance moyenne d'une petite centrale hydraulique est de 650 kW.

3.7 Comment estimer la puissance hydraulique?

La puissance hydraulique peut être estimée grâce à:

$$P_h = \rho Q gH$$

P = puissance hydraulique disponible pour la turbine [W]

ρ = masse volumique $\cong 1000$ [kg/m³]

Q = débit [m³/s]

gH = [énergie hydraulique massique](#) de la machine [J/kg]

g = accélération de la pesanteur $\cong 9.8$ [m/s²]

H = [chute nette](#) [m]

3.8 Les petites centrales hydrauliques peuvent-elles produire de l'électricité de pointe?

Généralement, les petites centrales hydrauliques ont une capacité de stockage limitée, ce qui signifie qu'il s'agit, la plupart du temps, de centrales au fil de l'eau qui ne peuvent être utilisées pour la production de pointe.

3.9 Quelles sont les dimensions moyennes d'une petite centrale hydroélectrique?

Cette question n'a pas de véritable réponse, puisque les dimensions de la turbine peuvent varier sur un large domaine.

3.10 Comment choisir le nombre de turbines à installer pour une même centrale?

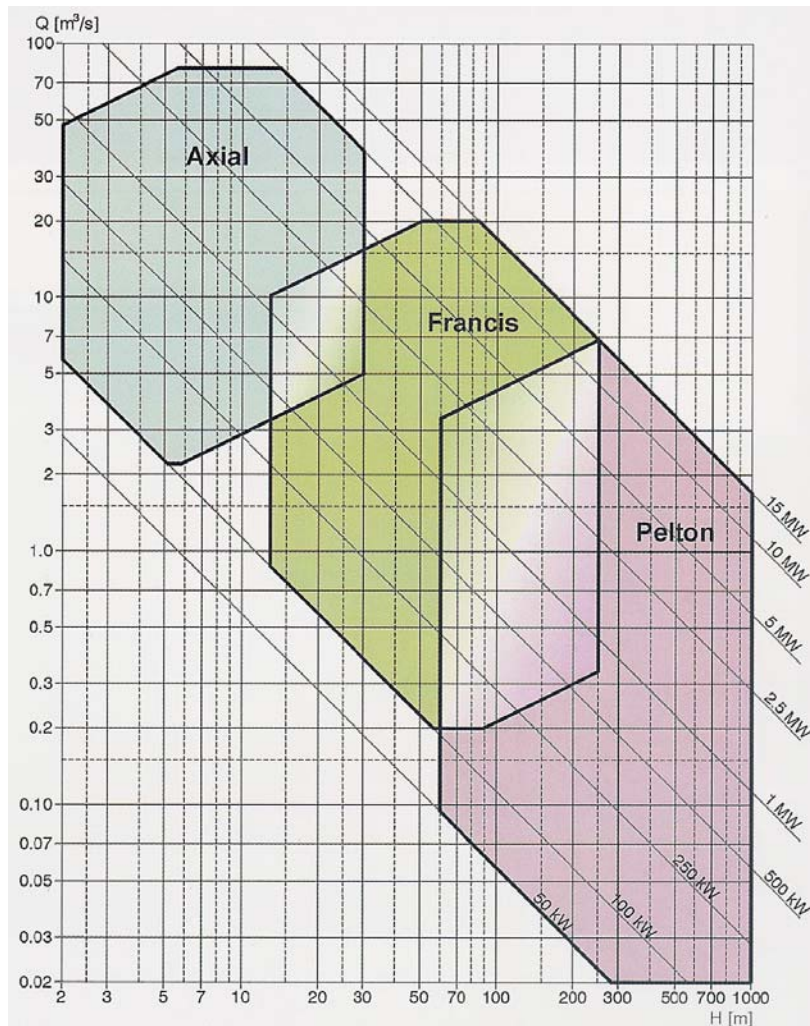
Le nombre de turbines à installer sur un même site dépend de la courbe de débits classés (voir la question 3.17), c'est-à-dire de la variabilité des débits et de la flexibilité de la turbine (de l'évolution de son rendement lorsque le débit s'éloigne du débit de dimensionnement).

3.11 Y a-t-il différents types de petites turbines?

Trois principaux types de petites turbines existent (similaires à celles de la grande hydraulique):

1. [Turbines Pelton](#): avec une roue composée d'augets, elles conviennent spécialement aux applications de haute chute (de 60 à plus de 1'000 m).
2. [Turbines axiales](#): avec une roue composée de pales, elles comprennent les turbines Kaplan, bulbes et les turbines à hélice, et conviennent spécialement aux basses chutes entre 2 et 40 m.
3. [Turbines Francis](#): elles conviennent aux chutes comprises entre 25 et 350 m.

La figure suivante montre les aires de fonctionnement des turbines selon leur débit d'équipement et la chute.



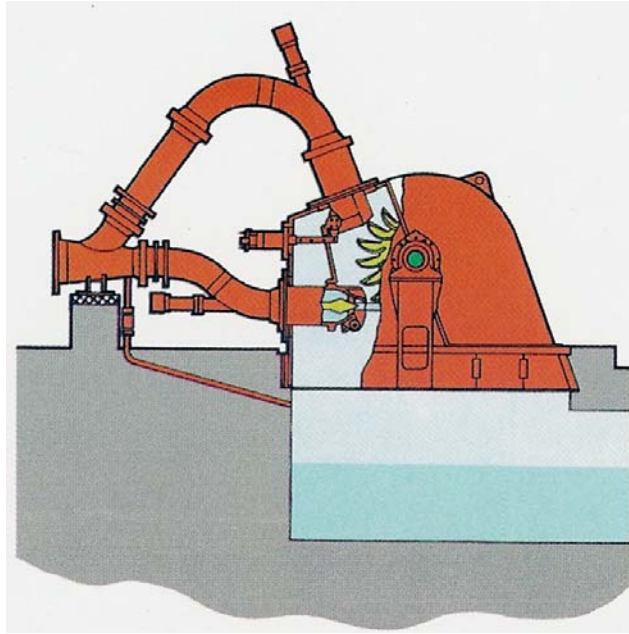
Domaines d'application des turbines selon la chute (H, en mètre) et le débit d'équipement (Q en m^3/s)

3.11.1 Quelles sont leurs principales caractéristiques?

3.11.1.1 Quelles sont les principales caractéristiques d'une turbine Pelton?

Une turbine Pelton, comme montrée dans la figure suivante, est une [turbine à action](#), ce qui signifie que l'énergie disponible pour la roue est cinétique (vitesse de l'eau). Une petite turbine Pelton atteindra un rendement mécanique de 90% (pour autant que son développement est basé sur des tests en laboratoire).

La roue à augets est commandée par un ou plusieurs jets d'eau libre qui viennent des injecteurs et qui exercent une force sur les augets profilés. Grâce à ces différents injecteurs, une turbine Pelton garantit un bon rendement pour un large domaine de débit. De plus, la roue est sous l'eau et l'intérieur de la machine est à la pression atmosphérique, ou même sous une légère dépression.



Vue d'une turbine Pelton à deux injecteurs

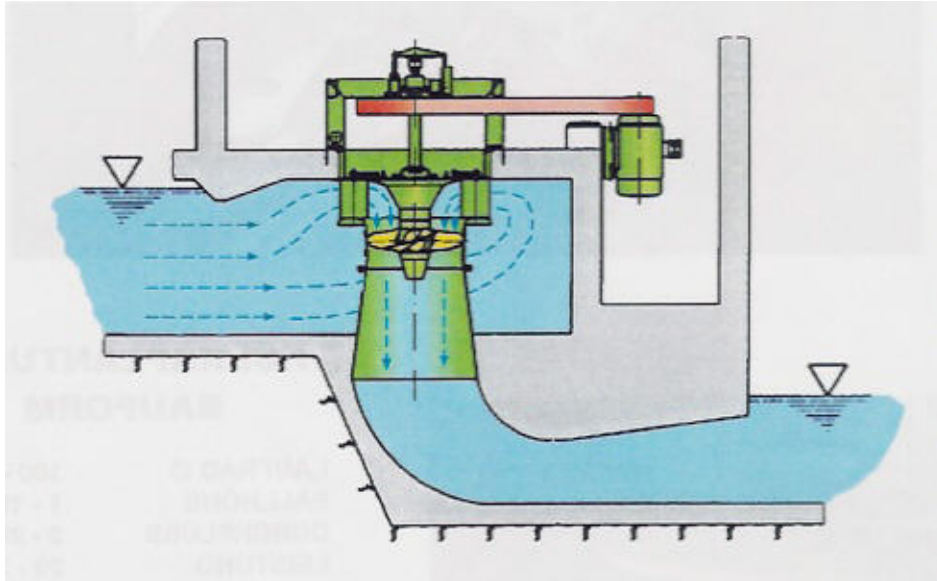
Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 6.2.1 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3.11.1.2 Quelles sont les principales caractéristiques d'une turbine axiale (telle que la Kaplan)?

Les turbines axiales, comme montré sur la figure suivante, sont toutes des [turbines à réaction](#), et se trouvent dans des aménagements de haut débit et de faible chute (de 2 à 40 m). Leur rendement mécanique est de l'ordre de 92 % pour la petite hydroélectricité (pour autant que leur développement est basé sur des tests en laboratoire).

Les configurations à hélices sont rares dans la petite hydroélectricité, puisque qu'elles nécessitent un débit quasi-constant.

D'autre part, beaucoup d'installations avec des pales mobiles et un [distributeur](#) fixe (simple réglage) ou avec des pales et un distributeur mobiles (double réglage) existent. Dans les deux cas, ces machines acceptent un large domaine de variations de débit.



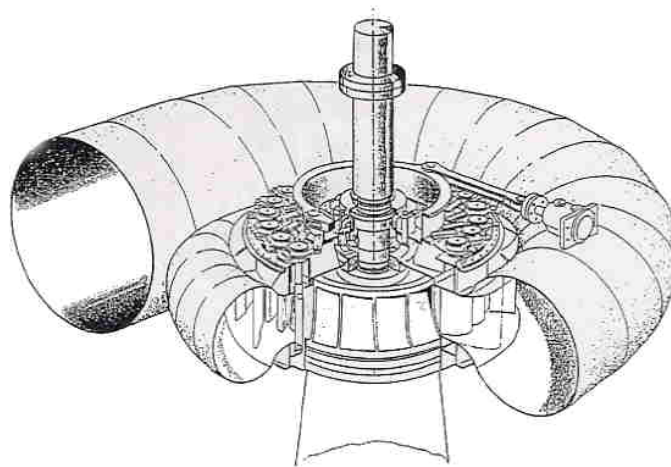
Coupe transversale d'une turbine Kaplan à double réglage

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 6.2.1 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3.11.1.3 Quelles sont les principales caractéristiques d'une turbine Francis?

Comme la turbine Kaplan, la turbine Francis, comme montré sur la figure suivante, est une [machine à réaction](#). Sa roue est sous l'eau et exploite la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et la différence de pression. Ce genre de turbines se rencontre régulièrement dans les anciens aménagements de basse chute, où elles se composent souvent d'une chambre d'eau, donc sans bête spirale. Comme leur vitesse de rotation est très lente, et qu'elles ne s'adaptent pas correctement aux variations de débits, elles ont été remplacées par les petites turbines Kaplan qui sont apparues sur le marché dans les années 1930 - 1940.

Le domaine de fonctionnement d'une turbine Francis s'étend en général entre 25 et 350 mètres. Le rendement mécanique d'une petite turbine Francis issue de développement en laboratoire est d'environ 92 %.



Vue d'une turbine Francis

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 6.2.1 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3.12 Qu'est-ce qu'un distributeur?

Les turbines à réaction sont équipées d'un distributeur, situé juste avant la roue. Il se compose d'aubes qui peuvent être orientables ou non, et il permet de régler l'angle d'écoulement à l'entrée de la roue.

3.13 Quelle est la différence entre une turbine à action et une à réaction?

Pour une turbine à action, la pression de l'eau est seulement convertie en énergie cinétique. La turbine à action la plus répandue est la [Pelton](#).

Une turbine à action, quant à elle, exploite la vitesse de l'eau (l'énergie cinétique) et la différence de pression. Les turbines à réaction les plus répandues sont les [axiales](#) et les [Francis](#).

3.14 Quel est le meilleur matériau pour une roue?

Le meilleur matériau est l'acier inoxydable.

3.15 Qu'est-ce que la systématisation?

Le procédé de systématisation a pour but de paramétrer complètement le profil hydraulique de la turbine, puis de tester son comportement et ses performances, selon l'évolution des paramètres. Comme ce procédé est consolidé par des tests en laboratoire, les lois de similitude permettent ensuite de calculer chaque turbine selon les caractéristiques exactes du site à équiper et surtout de garantir les performances.

Ainsi, les tests sur les turbines sont réalisés en amont, et non une fois les turbines construites, ce qui réduit les coûts pour l'investisseur.

3.16 Qu'est-ce que l'énergie hydraulique massique d'une machine?

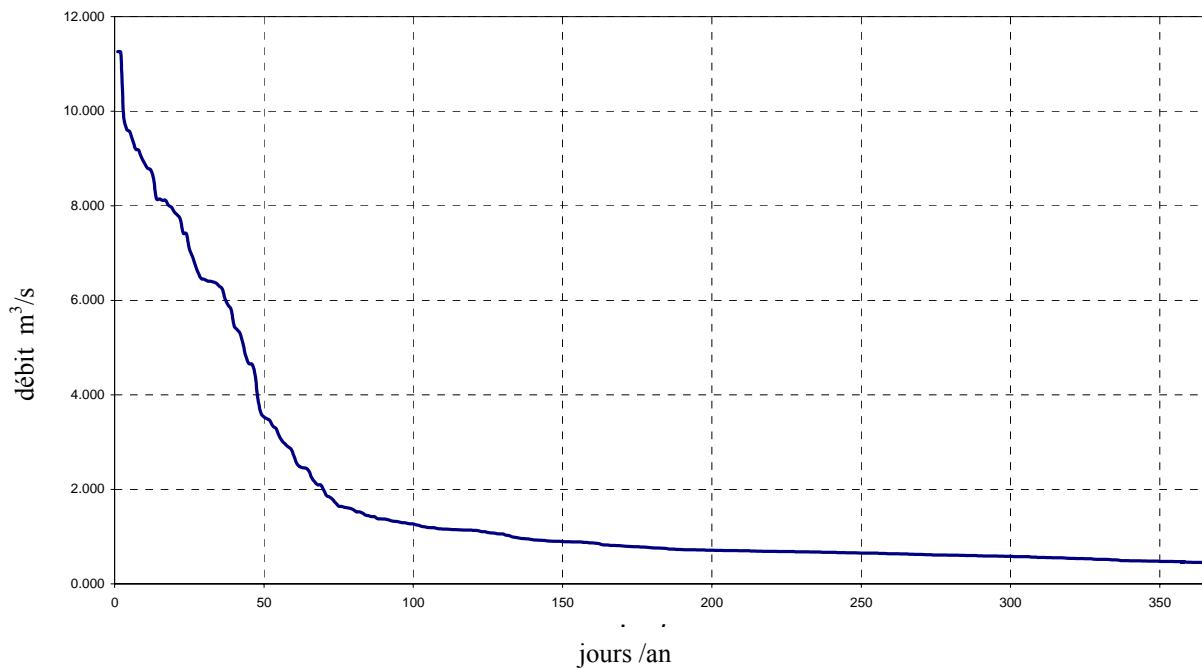
L'énergie hydraulique massique peut être estimée avec l'équation suivante:

$$E = gH = \frac{1}{\rho} \cdot (p_1 - p_2) + \frac{1}{2} \cdot (c_1^2 - c_2^2) + g \cdot (z_1 - z_2)$$

Où :	gH = énergie hydraulique massique	[J/kg]
	g = accélération de la pesanteur $\cong 9.8$	[m/s ²]
	H = chute nette	[m.]
	ρ = masse volumique $\cong 1000$	[kg/m ³]
	p_x = pression dans la section x	[Pa]
	c_x = vitesse de l'eau dans la section x	[m/s]
	z_x = niveau dans la section x	[m]

3.17 Qu'est-ce qu'une courbe des débits classés?

Une courbe des débits classés est une courbe qui représente les débits moyens mensuels classés dans un ordre décroissant. Cette courbe montre le nombre de jours pendant lesquels un débit considéré est atteint pendant une année.



Exemple de courbe des débits classés

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 3.4.2 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3.18 Comment est mesuré le débit?

Plusieurs méthodes existent afin de mesurer le débit:

- la méthode du déversoir
- la méthode d'exploration du champ de vitesse
- les méthodes de dilution et de traceurs
- la méthode de la pente de la ligne d'eau
- ...

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 3.3 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3.19 Qu'est-ce que la perte de charge?

La perte de charge est une perte d'énergie (perte de pression) qui résulte des changements de directions du flux, des frottements sur les parois des conduites, des obstacles (tels que la grille), etc.

3.19.1 Comment agit une conduite forcée sur la perte de charge?

La conduite forcée agit sur le bilan énergétique de l'aménagement. En effet, une augmentation de 20 % du diamètre de la conduite entraîne une diminution de la perte de charge de 60 %. De plus, des dépôts sur les parois de la conduite font augmenter la perte de charge, problème majeur pour les turbines sur l'eau usée.

Pour plus de détails, se référer aux paragraphes § 2.2 et § 5.5.3 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

3.20 Qu'est-ce que la cavitation?

Quand la pression hydrodynamique dans un flux liquide arrive en dessous de sa pression de vaporisation, de la vapeur est créée, ce qui entraîne la formation de petites bulles. La formation de bulles peut conduire à un phénomène de cavitation, avec de hautes pressions spontanées et un bruit substantiel (pour donner une image: le bruit de cavitation ressemble à du gravier passant dans une turbine). Les actions répétées de telles bulles près des pales de la roue conduisent à les éroder. Et en peu de temps, la turbine peut être sévèrement endommagée.

La photo suivante montre une pale réalisée sans développement en laboratoire qui a été érodée par la cavitation après quelques mois de fonctionnement et a dû être remplacée.



Pale érodée par la cavitation

3.20.1 Comment le phénomène de cavitation peut-il être évité?

Le phénomène de cavitation peut être évité grâce à un dimensionnement et une conception optimale de la turbine et en fixant son domaine de fonctionnement. Les développements en laboratoire permettent de comprendre le comportement de cavitation d'un profil hydraulique, de définir son aire de fonctionnement, et de fixer une hauteur maximale d'implantation de la turbine.

Face à un tel phénomène, tout investisseur en PCH devrait, en plus des garanties de rendement, demander des garanties de fonctionnement sans détérioration des pales due à la cavitation.

Pour plus de détails, se référer au paragraphe §6.2.4 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

4 ASPECTS POLITIQUES

Pour plus de détails, se référer au chapitre § 9 et à l'annexe § A du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

4.1 Quel est l'objectif du Livre Blanc pour la petite hydroélectricité?

En 1997, 5.4 % de la consommation européenne d'électricité brute se composait d'énergie renouvelable, en 2001 : 6 %. L'objectif européen est d'atteindre 12 % en 2010. Cet objectif concerne également la petite hydroélectricité : 4'500 MW devraient être créés, ce qui signifie que la production annuelle devrait passer de 37 TWh à 55 TWh.

Se référer également à la question : 1.9 Quelle est la situation de la petite hydroélectricité en Europe?

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § A.1 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

4.2 Quel est l'objectif de la Directive 2001/77/EC, "Promotion de l'Electricité Produite issue des Sources d'Energies Renouvelables" (Directive E-SER)?

La Directive expose les objectifs spécifiques d'atteindre 12 % de l'électricité utilisée issue des énergies renouvelables pour l'année 2010. La Directive E-SER⁴ donne aux Etats membres une raison de s'intéresser à la petite hydroélectricité, vu qu'il s'agit de la meilleure technologie prouvée des énergies renouvelables. La Directive propose les mesures suivantes:

- Objectifs nationaux quantifiés pour la consommation d'électricité de source renouvelable
- Aménagements nationaux de soutien, et, si nécessaire, un système de soutien harmonisé
- Simplification des procédures administratives nationales pour les autorisations
- Accès garantis à la transmission et la distribution de l'électricité de source renouvelable.

4.3 Comment le secteur européen de la petite hydroélectricité est-il interconnecté?

Le secteur européen de la petite hydroélectricité est interconnecté de deux façons:

- une conférence biennale,
- une association européenne, appelée ESHA pour Small Hydropower Association.

La conférence internationale Hydroenergia organisée tous les deux ans rassemble les spécialistes et les parties prenantes dans le domaine de la petite hydroélectricité de toute l'Europe. Elle provoque d'excellentes opportunités pour les principales parties prenantes de toute l'Europe, qui peuvent trouver ici un point de rencontre, pour échanger des informations, définir des stratégies communes et promouvoir de nouvelles actions et initiatives. Cette conférence couvre les principales questions techniques, administratives, environnementales et politiques du secteur de la petite hydroélectricité.

⁴ E-SER: Electricité issue de Sources d'Energie Renouvelable

Au niveau européen, l'ESHA représente les intérêts du secteur de la petite hydroélectricité en regroupant des associations nationales de producteurs d'hydroélectricité, qui eux-mêmes rassemblent des exploitants de centrale, des industries, des développeurs de projets, des consultants, des services publics, des instituts de recherche. L'ESHA est une organisation bien établie qui a mis sur pied un réseau de la petite hydroélectricité à travers toute l'Europe, en communication continue avec les politiciens et les décideurs.

4.4 Quelles sont les principales mesures de soutien pour les énergies renouvelables, en général, et pour la petite hydroélectricité, en particulier?

Il y a grosso modo 3 principaux instruments pour promouvoir l'électricité renouvelable, qui sont:

- des tarifs d'achat
- des obligations de quota associées au système de certificat vert
- des appels d'offre.

Ces instruments de mesures sont tous basés sur deux principes principaux: ils affectent la distribution ou la demande en électricité renouvelable, et se concentrent sur la production d'électricité ou sur la capacité installée des centrales d'électricité renouvelable.

a. Tarifs d'achat

Utilisés dans plusieurs Etats membres de l'UE (notamment l'Allemagne et l'Espagne), ils sont caractérisés par un prix spécifique fixé pour des E-SER qui doivent être payés par les Compagnies d'électricité, habituellement les distributeurs, à des producteurs privés de E-SER. Dans une variante du système, le gouvernement établit une prime fixe pour les générateurs de E-SER, payée en plus du prix normal local de l'électricité. Le prix fixé ou prime fixe peut être révisé(e) par le gouvernement pour refléter des coûts en baisse de la technologie.

b. Obligations de quota et certificats verts

Des obligations de quota sont utilisées pour imposer une production ou une consommation d'électricité d'origine renouvelable minimale. Le gouvernement fixe le cadre à l'intérieur duquel le marché doit produire, vendre ou distribuer une certaine quantité d'énergie renouvelable. L'obligation est imposée sur la consommation ou la production. Les quotas peuvent habituellement être commercialisés entre compagnies pour éviter des distorsions du marché.

Un certificat vert ou Tradable Green Certificate (TGC) est nécessaire pour ce système. En Irlande et aux Pays-Bas notamment, et prochainement au Danemark et dans les Flandres, les producteurs vendent l'électricité sur le marché ouvert, mais en même temps, reçoivent un « Certificat Vert » par MWh produit, qui est commercialisé séparément des biens matériels. La valeur de ce TGC vient en tant que résultat de l'obligation de tous les consommateurs d'acheter une certaine quantité de certificats verts aux producteurs de E-SER selon un pourcentage fixe, ou quota, de leur consommation/production totale d'électricité. Puisque les consommateurs souhaitent acheter ces certificats aussi bon marché que possible, un marché auxiliaire de certificats se développe là où les producteurs de SER se font concurrence pour la vente des certificats verts.

c. Système d'appel d'offres

Dans ce système (qui a fonctionné historiquement au Royaume-Uni dans le cadre des accords NFFO mais n'est plus en place actuellement), les générateurs E-SER sont soumis à des offres pour des contrats à prix fixe offerts par les autorités. Le système est associé soit à des tarifs d'achat soit à des TGC (certificats verts). Au Royaume Uni, où le système fonctionnait avec quelques technologies, les TGC sont connus comme les ROC (Renewable Obligation Certificates). Des procédures d'appels d'offre peuvent être utilisées pour sélectionner des bénéficiaires en vue d'un soutien d'investissement ou de production ou pour d'autres droits limités. Des investisseurs ou producteurs potentiels doivent concourir à travers un système d'appels d'offre compétitif. Le critère d'évaluation d'offres est fixé avant chaque tour d'appels d'offre. Le gouvernement décide du niveau souhaité d'électricité à partir de chaque SER, leur taux de croissance sur la durée et le niveau de sécurité de prix à long terme offert aux producteurs sur la durée. L'appel d'offre est accompagné d'une obligation sur la proportion d'électricité à partir de sources renouvelables que les distributeurs doivent acheter à un prix de prestige. La différence entre ce prix et le prix du marché est remboursée à la consommation d'électricité. A chaque appel d'offres, les offres les plus rentables seront sélectionnées pour recevoir la subvention. Le mécanisme amène par conséquent à l'option la moins chère.

Pour plus de détails, se référer à l'annexe A du "Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité".

4.5 Quelles sont les mesures complémentaires de soutien pour les énergies renouvelables en général et pour la petite hydroélectricité en particulier?

En plus, des trois principaux instruments (voir question 4.4), il y a des mécanismes complémentaires, comme les subventions sur investissement et les mesures fiscales.

➤ **Subventions sur investissement:**

Les autorités offrent des subventions sur l'investissement pour les technologies E-SER, en général en terme de pourcentage de l'investissement total. Ce type de soutien peut aider à surmonter la barrière d'un investissement initial élevé et il est couramment utilisé pour stimuler les investissements dans les technologies d'énergies renouvelables les moins économiques.

➤ **Mesures fiscales:**

Quelques Etats Membres comme l'Autriche, la Belgique, le Danemark ou le Portugal soutiennent l'électricité renouvelable au moyen d'un système fiscal. Ces dispositifs peuvent prendre différentes formes, qui vont d'une réduction des taxes générales sur l'énergie, réduction sur les taxes d'émission spéciale, des propositions pour des taux de TVA plus bas, des exemption de taxes pour le fonds vert, jusqu'à des dispositifs de réduction fiscale attractives, qui doivent être en ligne avec les directives de la Communauté sur l'aide de l'Etat pour la protection environnementale.

4.6 Où trouver des données hydrologiques?

Des données hydrologiques peuvent être obtenues auprès des autorités gouvernementales qui collectent et traitent les données de mesures issues des stations officielles de jaugeage. En général, elles sont appelées "département d'hydrologie". C'est là que vous trouverez les premières informations. Ensuite, une analyse plus détaillée devrait être réalisée par un ingénieur civil qui se chargera de la conception.

5 ASPECTS ECONOMIQUES

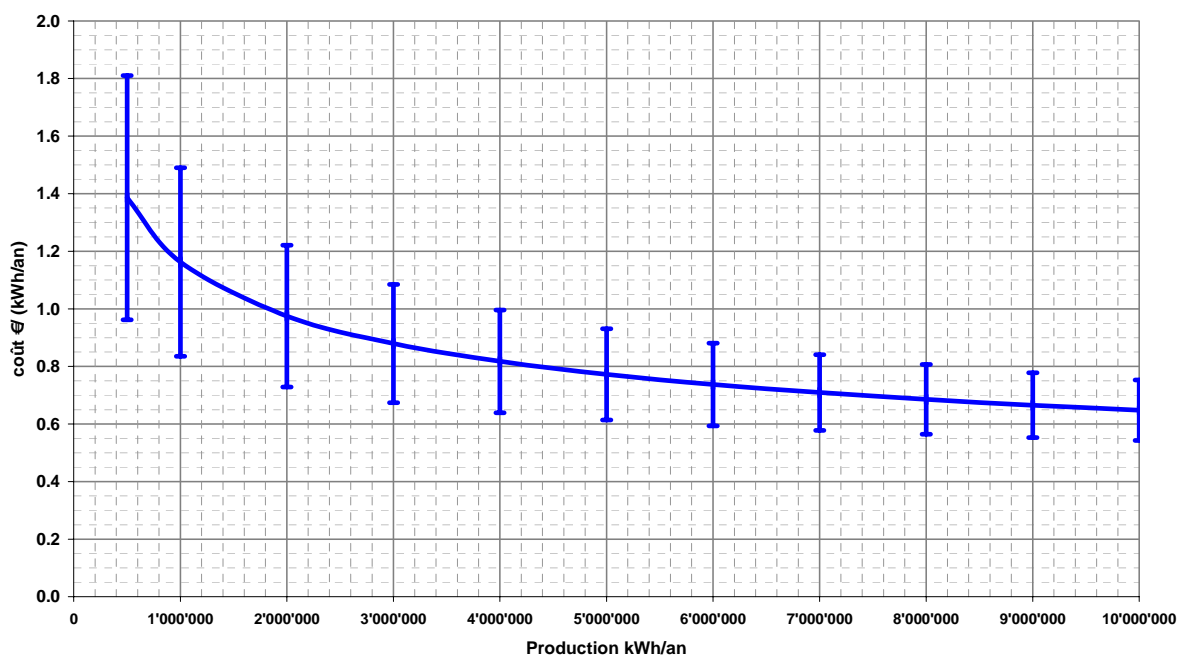
Pour plus de détails, se référer au chapitre § 8 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

5.1 Combien peut-on gagner avec une petite centrale hydraulique?

La somme à gagner avec une petite centrale hydraulique est liée à la quantité de kWh produits et au prix auquel est vendu le kWh (soit défini comme un prix de vente fixe ou comme un "certificat vert" – "green certificate"). Suivant la caractéristique hydrologique annuelle, la production peut varier entre 75 % et 125 % de la valeur moyenne annuelle. Une première approximation de la production annuelle (en kWh/an) peut être faite par le produit de la puissance (en kW) * 4000.

5.2 Combien coûte un projet de petite centrale?

Un investissement dans un aménagement de petite centrale hydraulique entraîne un certain nombre de dépenses, réparties sur la vie du projet, et produit en même temps les mêmes revenus qui sont également distribués sur une même période. Les dépenses incluent une composante fixe – l'investissement, les assurances, les taxes, etc- et une composante variable – les coûts de fonctionnement et de maintenance-.



Courbe des coûts: coûts des investissements en euros/(kWh/an) en fonction de la production électrique annuelle en kWh/an (source: Réseau Thématique en petite hydroélectricité, 2005)^{viii}

Le graphe précédent représente les coûts d'investissement exprimé en euros par (kWh/an) en fonction de la production électrique en kWh/an, entre 500 MWh/an et 10 GWh/an. Selon un temps typique de pleine charge de 5'000 heures pour un site de PCH, cette plage correspond à une puissance installée entre 100 kW et 2 MW.

Par exemple, en considérant 5'000 heures de pleine charge par an, le coût des investissements pour une PCH de 100 kW est compris entre 0.95 et 1.80 euros par (kWh/an) ou entre 475'000 et 900'000 euros, alors que pour une PCH de 2 MW, il est compris entre 0.55 et 0.75 euros par (kWh/an) ou entre 5.5 et 7.5 millions d'euros.

Bien sûr, cette courbe des coûts ne peut donner qu'une idée approximative des montants des investissements pour une PCH. Une étude de faisabilité réalisée par des spécialistes en PCH pourra préciser les coûts réels d'un projet.

5.3 Qu'est-ce qu'un temps de retour acceptable?

Pour connaître si un temps de retour est acceptable, le mieux est de considérer la durée de vie de la turbine. En effet, la durée de vie d'une petite centrale hydraulique est en général plus supérieure à 30 ans.

Pour plus de détails, se référer au paragraphe § 8.4 du Guide Technique pour la Réalisation de Projets de Petite Hydroélectricité.

5.4 Combien y a-t-il d'usines de petite hydroélectricité en Europe?

Il y a 23 usines substantielles concernées par l'hydraulique actives dans la petite hydroélectricité en Union européenne. Quatre grandes compagnies multinationales dominent le marché pour les plus grosses turbines, mais le marché entre 0.5 et 5 MW par site est plus ouvert aux petites compagnies.

5.5 Quels sont les chiffres actuels de l'emploi et les perspectives futures?

Les derniers chiffres de l'emploi montrent qu'en 2002, environ 2'200 personnes travaillaient directement dans le secteur de la petite hydroélectricité dans l'Union Européenne. Sont inclus les usines (environ 1'200 employés) et les secteurs de recherche et les consultants (environ 1'000 employés).

De plus, il y a environ 4'000 personnes impliquées indirectement, les producteurs d'électricité inclus. On peut estimer par conséquent que 6'000 employés travaillent – directement et indirectement – dans le secteur européen de la petite hydroélectricité.

Une croissance de l'emploi dans le secteur de la petite hydroélectricité dépend des contraintes légales, administratives et environnementales sur son développement.

6 Glossaire

CC: la Bulgarie, la Roumanie et la Turquie sont les États candidats

cts: centimes

E-SER: Electricité issue de Source d'Energie Renouvelable

ESHA: European Small Hydropower Association, Association Européenne de la Petite Hydraulique

PCH: Petites Centrales Hydrauliques

PH: Petite Hydroélectricité

UE: Union Européenne

UE-10nouveaux: le 1^{er} mai 2004 8 pays de l'Europe de l'Est et 2 pays méditerranéens ont rejoint l'Union Européenne: la République Tchèque, Chypre, l'Estonie, la Hongrie, la Lettonie, la Lituanie, Maltes, la Pologne, la Slovaquie et la Slovénie

UE-15: Portugal, Suède, Allemagne, France, Italie, Luxembourg, Grèce, Espagne, Finlande, Belgique, Les Pays Bas, Danemark, Autriche, Irlande, Royaume-Uni

ROC: Renewable Obligation Certificate, Certificat d'obligation pour les renouvelables

SER: Source d'Energie Renouvelable

TGC: Tradable Green Certificate, certificat vert

7 Bibliographie

ⁱ Small hydropower in New Member States and candidate countries, TNSHP, 2004

ⁱⁱ Small hydropower in New Member States and candidate countries, TNSHP, 2004

ⁱⁱⁱ Check list, Réseau thématique pour la petite hydroélectricité, ESHA (www.eshabe.be), 2005 (disponible en français)

^{iv} Reserved Flow - Effects of additional parameters on depleted Stretch, ESHA, (www.eshabe.be)

^v Reserved Flow - Short critical review of the methods of calculation, ESHA, (www.eshabe.be)

^{vi} *Petite hydroélectricité: Guide Technique pour la Réalisation de Projet*, Réseau thématique pour la petite hydroélectricité, ESHA, (www.eshabe.be), 2005 (disponible en français)

^{vii} *Brochure on the environmental aspects of small hydroelectric plants*, Réseau thématique pour la petite hydroélectricité, ESHA (www.eshabe.be), 2005

^{viii} Cost Curve, Réseau thématique pour la petite hydroélectricité, ESHA (www.eshabe.be), 2005