

L'ÉNERGIE HYDRO-ÉLECTRIQUE

1. LA FORCE HYDRAULIQUE, UNE VIEILLE HISTOIRE

La roue hydraulique

L'histoire de l'utilisation de la force hydraulique est aussi longue que riche. Plusieurs siècles avant l'ère chrétienne, l'homme construisait déjà des machines hydrauliques qui soulageaient sa peine lorsqu'il voulait élever l'eau pour des besoins d'irrigation (les norias). Mais la forme la plus ancienne et la plus simple de la turbine fut la roue hydraulique, utilisée pour la première fois dans les civilisations antiques grecques et romaines. La partie inférieure de la roue plongeait alors dans le courant. Sa puissance, qui atteignait au plus quelques centaines de watts, est montée à une trentaine de kilowatts vers le II^e siècle après J.-C., lorsque la roue fut entraînée par sa partie supérieure, et ceci jusqu'au moyen âge.

Au X^e siècle, en Europe, plusieurs milliers de ces installations fournissaient de l'énergie mécanique, essentiellement à des moulins. Vers la fin du XVIII^e siècle, en relation avec le développement de l'agriculture et de diverses industries, la métallurgie notamment, on en comptait dix fois plus !

Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, soit durant près de deux millénaires, le principe de la roue hydraulique a peu évolué. Il est utile de noter que sa puissance, même celle des plus performantes comme on les construit aujourd'hui, est limitée par un problème de dimensions. En effet, le travail d'une roue hydraulique résulte du remplissage et du vidage de godets tournants autour d'un axe horizontal. L'eau est amenée dans les godets par une goulotte au sommet de la roue et s'évacue lorsque les godets parviennent en bas. L'énergie hydraulique cédée à la roue est proportionnelle au produit de la masse d'eau contenue dans les godets par la dénivellation perdue. Or, la masse d'eau dépend de la largeur de la roue et la hauteur perdue, de son diamètre (ou hauteur de chute). La puissance produite, fonction du débit d'eau, fait encore intervenir la vitesse de rotation. Les plus grandes valeurs techniquement et économiquement réalisables de chacun de ces trois termes, largeur, diamètre et vitesse de rotation, déterminent la puissance maximale pratique d'une roue hydraulique, soit quelques dizaines de kilowatts.

La turbine

La turbine hydraulique est née des progrès considérables accomplis aux XVII^e et XVIII^e siècles dans la connaissance de la mécanique des fluides. Il a toutefois fallu un siècle de tâtonnements pour que les ingénieurs réalisent la première turbine qui, à la différence principale de la roue hydraulique, utilisait la pression de l'eau.

La turbine pouvant être alimentée par une conduite sous pression (conduite forcée), la hauteur de chute n'était plus limitée au diamètre de la roue ; il a donc été possible d'atteindre progressivement des puissances unitaires beaucoup plus grandes, jusqu'à plusieurs centaines de mégawatts (1 mégawatt = 1'000 kW).

L'hydro-électricité

La turbine hydraulique, comme la première roue hydraulique, est un moteur. Elle ne délivre donc que de l'énergie mécanique. C'est d'ailleurs uniquement sous cette forme qu'elle a été utilisée jusque vers la fin du XIX^e siècle (entraînement direct des machines). C'est en 1870 que le premier générateur électrique tournant a été mis au point et a permis ainsi de produire de l'électricité à l'aide d'une turbine. L'hydro-électricité était née avec ses premières grandes centrales et ses premiers réseaux de distribution.

Les turbines Pelton équipent les grandes chutes ; le record mondial de ce type de turbine est actuellement détenu par l'aménagement suisse de *Cleuson-Dixence* avec une dénivellation de 1'880 m. Cependant, les installations les plus puissantes sont équipées de turbines du type Francis. Citons, par exemple: *La Grande* au Canada sur la Baie James (7'300 MW), *Grand Coulee* aux États-Unis sur la rivière Columbia (6'500 MW) et surtout *Itaipu* au Brésil dont la puissance globale est de 13'500 MW avec 18 groupes turbo-générateurs (14 fois la puissance de la centrale nucléaire suisse de Gösgen !).

2. LES RESSOURCES DE L'HYDRO-ÉLECTRICITÉ EN SUISSE

Le potentiel installé

En 2000, le potentiel installé a produit 35'547 GWh (valeur moyenne de la production de 1990 à 2000).

Le graphique ci-dessous montre l'évolution, depuis 1985, de la production hydro-électrique de la Suisse. Pour chaque année, on considère deux valeurs : l'énergie produite durant l'année et la moyenne des dix années précédentes. On remarque que, si la moyenne sur dix années est relativement constante, les variations d'une année à l'autre sont parfois importantes. Cette particularité est à prendre en compte dans les perspectives de la gestion globale de l'énergie électrique du pays.

L'évaluation du potentiel réalisable

Le potentiel hydro-électrique finalement réalisable, évalué à partir de 1995, est la résultante de trois éléments :

- La production de nouvelles installations de moyenne et grande puissance et la modernisation des installations existantes.
- La perte de production entraînée par l'application de la loi sur la protection des eaux (1991).
- Le potentiel de réalisation des petites centrales hydrauliques.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution probable de la production hydro-électrique en Suisse jusqu'en 2070. Il a été établi en 1995 et a été reproduit tel quel dans la première édition du « L'énergie au futur ». Or, on observe maintenant que la production en 2000 (35'547 GWh) est supérieure de 903 GWh à la projection faite pour cette même année, soit + 2,6 %. Plusieurs explications plausibles : programme de modernisation des centrales existantes accéléré par rapport aux prévisions ; effets de l'encouragement au développement des petites centrales ; modification du régime hydrologique du pays (modification du climat ? ?). La réponse n'est pas encore connue, mais il n'y a pas lieu, pour le moment de corriger la prévision du potentiel final : 37'300 GWh.

On classe dans le domaine des installations moyennes et grandes, les centrales hydro-électriques traditionnelles, réputées économiquement rentables, construites et exploitées par l'économie électrique. La puissance de telles installations est en général supérieure à 10'000 kW. Le potentiel d'accroissement de leur production dépend des possibilités encore existantes de construire de *nouveaux aménagements*, mais aussi - et surtout - de

l'amélioration des performances des centrales existantes, dont beaucoup sont très anciennes en Suisse.

Le potentiel global et final des installations de moyenne et grande puissance est estimé à 37'800 GWh par an, nouvelles centrales et modernisation des anciennes confondues. L'achèvement de ce programme serait réalisé vers 2030.

Ce gain de production sera toutefois fortement réduit par l'application de la loi sur la protection des eaux, votée par le peuple en 1992. L'article 31 de cette loi fixe le débit résiduel minimal qui doit s'écouler dans le lit naturel du cours d'eau lorsqu'un prélèvement est opéré en amont. La loi étant appliquée au moment du renouvellement des concessions, c'est seulement vers 2070 qu'elle aura progressivement atteint son plein effet.

L'économie électrique a évalué à 2'500 GWh par an la perte de production hydro-électrique finalement entraînée par l'application de la loi sur la protection des eaux.

Les petites centrales hydrauliques, c'est-à-dire celles dont la puissance maximale est d'environ 10'000 kW, sont l'objet du chapitre 4. Leur potentiel est admis à environ 2'000 GWh par an.

La production annuelle de l'hydro-électricité en Suisse, atteindrait finalement, soit vers 2070, approximativement 37'300 GWh, en passant par un maximum de 38'600 vers 2030.

3. LES RESSOURCES DE L'HYDRO-ÉLECTRICITÉ EN EUROPE

La Commission européenne a édité en 1998 son « Livre blanc » intitulé « Énergie pour l'avenir : les sources d'énergie renouvelable ».

Nous reproduisons, ci-après, le chapitre consacré à l'hydro-électricité :

L'hydro-électricité est une technologie éprouvée, parvenue à maturité, qui est concurrentielle par rapport à d'autres sources d'énergie depuis de nombreuses années. Cependant, le potentiel technique et économique des grandes centrales hydro-électriques soit a déjà été utilisé, soit est rendu indisponible par des contraintes environnementales. En revanche, 20 % seulement du potentiel économique des petites centrales hydro-électriques a été exploité jusqu'à présent. En outre, bon nombre des petites centrales existantes sont hors service, souvent à cause d'un manque d'incitations spécifiques en matière d'entretien et d'autres coûts et en raison de la situation tarifaire globale du réseau d'électricité, mais leur remise en état ne demande que des investissements relativement modestes, surtout dans le cas de petites installations typiquement rurales et relativement isolées. Les pays de l'Union européenne dominent le marché mondial des petites centrales hydrauliques.

En 1995, quelque 307'000 GWh d'énergie hydro-électrique ont été produits dans l'Union, à partir d'une capacité globale de 92'000 MW. Les petites centrales hydrauliques, c'est-à-dire celles dont la capacité est inférieure à 10 MW, représentaient 10 % de la capacité installée (9'300 MW) et ont produit 37'000 GWh.

Une augmentation de 10 % de la capacité installée des grandes centrales hydro-électriques (8'500 MW) est probable d'ici 2010 si l'on tient compte des projets déjà planifiés et d'un certain développement acceptable sur le plan écologique. Augmenter de 4'500 MW la capacité installée des petites centrales hydrauliques pour l'an 2010 est une contribution réaliste qu'un cadre réglementaire plus favorable rendrait réalisable étant donné que l'incidence environnementale de ces petits projets, à condition qu'ils soient correctement planifiés, peut être nettement réduite.

4. LES PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES

Qu'est-ce qu'une "petite centrale hydraulique" (PCH) ?

Il n'est pas facile de répondre à cette question. Quel est en effet le critère qui permet de dire qu'une centrale hydraulique n'est pas une petite et inversement ? Il n'existe pas aujourd'hui de définition générale vraiment satisfaisante de ce qu'on appelle les "petits aménagements hydro-électriques" ou "petites centrales hydrauliques".

L'adjectif "petit" peut, en effet, se rapporter à différents critères dont certains sont exactement quantifiables comme la puissance maximum, l'énergie produite annuellement ou la taille des machines (une dimension caractéristique des turbines, par exemple). D'autres critères techniques et économiques peuvent aussi être déterminants pour caractériser une PCH. Le prix d'achat de l'énergie produite, par exemple, est un des facteurs qui détermine bien la limite de la puissance des machines à partir de laquelle on peut faire appel à des techniques élaborées, donc coûteuses, utilisées pour construire les grandes unités.

La littérature existante dans ce domaine, et elle est assez importante, considère uniquement comme limite du domaine des PCH la puissance électrique installée maximale de la centrale.

L'UNIPED (Union internationale des producteurs et des distributeurs d'énergie électrique) a fixé à 10'000 kW cette puissance limite.

On observera avec raison que le seul critère de la puissance maximum n'est pas très satisfaisant. Il ne tient pas compte, par exemple, de la hauteur de la dénivellation de l'aménagement qui, pour une même puissance, intervient directement dans la taille des équipements, ni des limites de la standardisation (composants électromécaniques, conduites forcées, etc.). On peut lire dans l'encadré une proposition tentant de mieux définir une petite centrale hydraulique.

Toutefois, à défaut d'autres données, particulièrement en ce qui concerne les études de potentiels, nous considérerons ici la limite de puissance de 10 MW pour définir le domaine des PCH.

Petite centrale hydro-électrique de La Rasse (VS) turbinant l'eau potable de deux communes (St-Maurice et Evionnaz). Le petit bâtiment qui abrite le groupe turbo-électrique est construit sur le bassin de mise en charge du réseau de distribution. Puissance électrique : 750 kW. Production annuelle : 2'600'000 kWh. (Technique MHyLab 1998, photos V. DENIS)

Potentiel énergétique des petites centrales hydrauliques en Suisse

Il y avait, au début du siècle, 6'850 PCH (jusqu'à 10 MW) en fonction en Suisse, souvent de très petite puissance et dont la moitié produisaient uniquement de la puissance mécanique. Il n'en restait plus que 980 en 1985

Seul le potentiel réaliste nous intéresse ici; c'est-à-dire celui qu'il sera finalement possible de réaliser, techniquement, économiquement, politiquement, socialement et écologiquement. Il faut donc considérer avec beaucoup de prudence toute prévision à long terme d'un potentiel énergétique. Cette observation est évidemment valable pour toutes les sources d'énergies.

Selon le programme Énergie 2000 de la Confédération, le potentiel énergétique global des PCH en Suisse est de 6'000 GWh par an (11,5 % de la consommation actuelle). Il comprend les 3'050 GWh produits par les installations encore existantes, sachant qu'une partie de celles-ci est en danger d'abandon, et la réalisation d'un potentiel nouveau qui doublerait pratiquement la production actuelle.

Toutefois selon d'autres analyses, le potentiel à réaliser est évalué plus prudemment à 2'000 GWh par an. C'est cette valeur qui a été considérée dans l'évaluation du potentiel énergétique final de l'hydro-électricité de la Suisse (chapitre 2).

Sur cette dernière base, on estime qu'il y aurait environ 1'000 PCH à construire soit 100 unités de puissance comprise entre 1 et 10 MW et 900 en dessous de 1 MW.

Contributions financières du programme "suisse énergie" au développement des PCH

La Confédération, par son programme "suisse énergie", peut apporter une aide financière pour une étude préliminaire de PCH (avant-projet) et pour la réalisation de projets pilotes et de démonstration (programme P+D).

Toutefois, la mesure promotionnelle actuelle la plus efficace pour développer le potentiel des PCH est certainement celle qui fixe à 15 cts/kWh le tarif minimum moyen de reprise de l'énergie injectée dans le réseau public par des producteurs indépendants, jusqu'à la puissance de 1'000 kW.

Cette mesure, qui concerne par ailleurs toutes les sources d'énergie renouvelable, est applicable jusqu'au 31 décembre 2002, mais la loi sur l'énergie (1999) impose de la reporter.

Soutien technique aux constructeurs de petites centrales hydrauliques - Laboratoire MHyLab

L'analyse de situations concrètes de réhabilitation et de construction de petites centrales fait nettement apparaître que, dans la plupart des cas, seul le support d'un centre de compétence spécifique permet de concilier les quatre exigences fondamentales quant à la réussite de tout projet de ce type:

- Faible coût de construction
- Rendement énergétique élevé
- Fiabilité maximale
- Entretien facile.

L'idée de construire un laboratoire destiné au développement des petites centrales hydrauliques, et singulièrement des petites turbines, est née au sein du groupe de travail "Mini-hydraulique" de l'ADER.

La poursuite du projet a été intégralement reprise par la "FONDATION DU LABORATOIRE DE MINI-HYDRAULIQUE DE MONTCHERAND", créée le 9 décembre 1993 par l'ADER. Un sigle a été adopté pour le Laboratoire : MHyLab.

Le laboratoire a pris place dans des locaux de la centrale hydro-électrique de Montcherand (VD), propriété de la Compagnie vaudoise d'électricité. Il est opérationnel depuis février 1997.

Le financement de la construction des installations d'essais et de la première phase du programme de recherche a été assuré par diverses institutions publiques et privées : Office fédéral de l'énergie (OFEN), Fonds national pour la recherche énergétique (NEFF), Fonds pour étude et projets de l'économie électrique (PSEL), Canton de Vaud, d'autres cantons romands et des communes vaudoises.

MHyLab met à la disposition des constructeurs et des bureaux d'étude les résultats de sa recherche contre le paiement de royalties. Le montant perçu est limité à une très faible proportion du coût des turbines afin de ne pas compromettre la rentabilité économique des projets.

MHyLab est également un centre de compétences dans le domaine de la mini-hydraulique afin d'être à même de fournir les prestations suivantes :

- Conseils en matière de mini-centrales
- Étude de sites et de faisabilité
- Assistance dans la réalisation de projets pilotes
- Promotion de la mini-hydraulique
- Formation.

Commencé en 1997, le développement des turbines à haute chute (Pelton) est terminé depuis fin 2000. Le domaine des hauteurs de chute possibles s'étend de 70 à 600 m. Une vingtaine d'installations construites sur la base de cette technique est déjà en exploitation ou en cours de réalisation.

Photo

Le programme des turbines à basse chute a aussitôt suivi et se poursuit actuellement dans le cadre d'un projet européen.

La photo ci-contre montre un modèle réduit de turbine axiale de conception MHyLab monté sur la plate-forme d'essai.

Le domaine des hauteurs de chute possibles s'étend de 2,5 à 30 m.

Le premier prototype construit sur cette base sera mis en service en 2002.

Le potentiel des petites centrales à basse chute est considérable en Europe et dans le monde, particulièrement dans les pays en développement ou à reconstruire.

Les petites centrales hydrauliques et l'écologie

Les petites centrales hydrauliques représentent, on l'a vu, un potentiel énergétique et économique important. Cependant, lorsqu'elles sont situées sur un cours d'eau, elles en modifient l'état naturel.

Ces installations se situent donc au point de rencontre des intérêts de la mise en valeur d'une énergie propre, renouvelable, décentralisée et indigène, d'une part, et de la protection de l'environnement d'autre part, particulièrement du paysage et de la vie aquatique des rivières qu'elles exploitent.

Il importe toutefois de rappeler que, hors de toute utilisation de la force hydraulique, l'aménagement intensif du territoire a conduit à transformer de nombreux cours d'eau en canaux endigués par bétonnage ou empierrements afin d'occuper un espace minimal. A la protection efficace contre les crues et à l'évacuation de débits importants à l'aide d'un profil minimal correspond le plus souvent un appauvrissement biologique des cours d'eau : perte de milieux naturels, de refuges et de niches écologiques pour la flore et la faune. Les berges trop pentues empêchent par ailleurs une liaison avec les zones voisines et, par conséquent, un échange entre les biotopes se trouvant de part et d'autre du cours d'eau.

Les écoulements à faible vitesse que nécessitent les aménagements hydro-électriques, associés à un arrangement approprié des rives, permettent de retrouver des conditions de vie de la faune aquatique proche de l'état originel. Il est ainsi possible d'aménager les cours d'eau en utilisant des espèces végétales aptes à coloniser les berges et les talus pour les protéger de l'érosion, tout en constituant une protection efficace contre les crues, peu exigeante en termes d'entretien.

Bassin de retenue d'une petite centrale hydraulique dans le Canton du Jura (Photo V. DENIS)

5. CONCLUSION

L'hydro-électricité est une énergie indigène, renouvelable, propre et modulable. C'est la forme la plus achevée de l'énergie solaire et la seule qui peut être accumulée et s'adapter instantanément aux besoins du consommateur.

En Suisse, le potentiel hydro-électrique représente plus de 70 % de la consommation actuelle d'électricité du pays. Ce potentiel ne prendra cependant toute sa signification que s'il est associé à d'importantes mesures d'économie et à la mise en valeur des autres sources d'énergie renouvelable.

Les aménagements hydro-électriques futurs ou modernisés devront tenir compte des impératifs de la protection du paysage et de l'écologie de l'eau. La réhabilitation des sites abandonnés, c'est le cas pour un grand nombre de petits aménagements, doit être l'occasion d'améliorer les situations existantes.

De plus, ce développement permet la création d'un produit parfaitement réalisable par de nombreuses petites et moyennes entreprises locales.

Durant les vingt prochaines années il y aura plusieurs dizaines de milliers de petites centrales à construire dans le monde !
