

## Chapitre ... **Energie Hydraulique**

P. Bacher ancien Directeur Technique de l'Equipement EDF  
B. Tardieu Directeur Général Coyne et Bellier

1. Introduction.....	1
2. Les différents types d'ouvrages hydrauliques .....	2
2.1 Les bassins versants et le stockage naturel de l'eau .....	2
2.2 Les différents types d'aménagements hydrauliques.....	2
a) les aménagements avec retenue.....	3
b) les aménagements "au fil de l'eau" .....	3
c) les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) .....	3
d) Les différents types de turbines .....	3
3 . La grande hydraulique.....	4
3.1 Situation en 2000.....	4
3.2 Avantages et inconvénients.....	5
a) pour l'environnement.....	5
b) pour la santé .....	6
c) sociaux.....	6
3.3 Grande hydraulique et risques industriels .....	6
3.4 Grande hydraulique et réseau de transport d'électricité .....	7
a) Le transport de l'électricité .....	7
b) Le soutien au réseau .....	8
3.5 Economie.....	8
3.6 Potentiel et perspectives de développement .....	8
4. La petite hydraulique.....	9
4.1 Situation en 2000.....	10
4.2 Avantages et inconvénients.....	11
a) Les avantages et inconvénients pour l'environnement .....	11
b) Les avantages sociaux .....	11
4.3 Petite hydraulique : une production décentralisée.....	12
4.4 Perspectives de développement .....	12
a) Une réglementation européenne très volontariste pour le développement de l'énergie renouvelable .....	12
b) Des tarifs d'achat incitatifs .....	13
c) Les facteurs limitants .....	13
d) La contribution de la petite hydraulique aux objectifs de production d'électricité d'origine renouvelable .....	13
5. Conclusions.....	14
Bibliographie.....	15

### **1. Introduction**

Jusqu'à la Révolution Industrielle, le bois et la force animale fournissaient l'essentiel de l'énergie utilisée par l'homme. Mais, utilisée depuis longtemps pour entraîner des machines, l'énergie hydraulique fournissait la plus grande partie de l'énergie mécanique. Aujourd'hui, l'énergie hydraulique représente 6 à 7 % de l'énergie consommée mondialement, mais près de 20 % de l'électricité.

L'énergie hydraulique est une énergie peu concentrée : pour produire 1 kWh électrique dans une usine ayant un rendement de 85 %, il faut faire chuter 10 tonnes d'eau d'une hauteur de 40 m. Il en résulte que, pour produire des quantités importantes d'électricité, il faut soit disposer de gros débits (se comptant en milliers de m<sup>3</sup> par seconde), soit disposer

d'une grande hauteur de chute (se comptant en centaines de mètres, soit les deux. Il faut en outre que l'eau soit disponible en quantités suffisantes, ce qui dépend du bassin versant et de la pluviométrie.

Lorsque ces conditions sont réunies, on parle de grande hydraulique : en France, le Rhin et le Rhône sont équipés "au fil de l'eau" (la majeure partie du débit est turbinée dans des chutes d'environ 10 m de hauteur, sans retenue), alors que sur les rivières moins importantes des Alpes, des Pyrénées et du Massif Central on a construit des barrages qui retiennent l'eau et permettent de produire de l'électricité quand on en a le plus besoin.

Dans de nombreux cas, cependant, ces conditions ne sont pas réunies, et on ne dispose que de petites quantités d'eau, parfois mais pas toujours associées à de grandes hauteurs de chute. On parle alors de "petite hydraulique" ; la puissance de ces unités va de quelques kW à quelques MW. On en recense plus de 1500 en France qui, à elles toutes, représentent environ 10 % de l'énergie hydraulique.

Il faut noter aussi que de nombreux ouvrages hydrauliques ne servent pas qu'à la production d'électricité : beaucoup constituent des réserves d'eau exploitées pour l'irrigation (par exemple Serre-Ponçon en France), d'autres ont pour objet principal la maîtrise des crues. De très nombreux barrages ne sont pas équipés de turbine. Nous n'évoquerons pas ces derniers ici.

Les caractéristiques, les avantages et les inconvénients, l'économie même, de la "grande" et de la "petite" hydraulique, ont assez peu de choses en commun. C'est pourquoi nous les traiterons séparément dans ce chapitre.

## **2. Les différents types d'ouvrages hydrauliques**

### ***2.1 2.1 Les bassins versants et le stockage naturel de l'eau***

L'énergie hydraulique est une énergie d'origine solaire. L'eau évaporée par la chaleur solaire, pour la plus grande partie sur les grandes étendues d'eau (océans, mers, grands lacs) mais également sur les terres, par évapotranspiration, se condense sous forme de précipitations, et ceci de préférence sur les montagnes. Grâce à ce mécanisme, l'eau gagne une énergie potentielle directement proportionnelle à l'altitude de son point de chute.

Une partie de cette eau s'infiltré dans le sol, alimente des nappes phréatiques et réapparaît plus ou moins bas. Une autre partie est stockée sous forme de neige ou de glace, et est susceptible d'être déstockée au moment de la fonte des neiges. Le reste s'écoule vers les rivières.

Le bassin versant d'une rivière désigne l'ensemble des zones dont l'eau de pluie s'écoule vers la rivière. Plus il est grand, et plus il reçoit de précipitation, stockée ou pas sous forme de glace, plus le "potentiel hydraulique" de la rivière sera important.

### ***2.2 Les différents types d'aménagements hydrauliques***

Chaque site possède ses propres caractéristiques, hydrologiques, géologiques, topographiques, et sera aménagé en fonction de ses caractéristiques et des objectifs

poursuivis : fourniture quasi permanente d'électricité, fourniture en période de pointe uniquement, stockage temporaire, etc.. Bien que chaque aménagement hydraulique soit très spécifique du site choisi, les différents aménagements peuvent être classés en quelques grandes familles.

#### a) a) les aménagements avec retenue

De nombreuses rivières ont un débit très variable au cours de l'année, notamment du fait de la variation saisonnière des précipitations et du stockage naturel de la neige en hiver, et ceci d'autant plus que leur bassin versant est limité. C'est le cas de la plupart des rivières en altitude, mais également de certaines autres, comme la Durance en France. Lorsque l'on veut exploiter leur potentiel hydraulique, on est amené à construire des barrages qui vont eux-mêmes stocker l'eau lorsqu'elle arrive en abondance, et permettre de la restituer et de la turbiner lorsqu'on en a besoin. Ces barrages ont des hauteurs variables entre quelques dizaines de mètres et largement plus de 100 mètres en fonction de la topographie des lieux et des quantités d'eau à stocker. Ces quantités sont elles-mêmes très variables, de quelques centaines de millions (Tignes) à quelques milliards de m<sup>3</sup> (Serre-Ponçon) voire beaucoup plus (barrage Nasser sur le Nil en Egypte ou Kariba sur le Zambèze).

#### b) b) les aménagements "au fil de l'eau"

Lorsque le débit d'une rivière ne varie pas trop au cours de l'année, on choisit généralement de l'équiper "au fil de l'eau", sans créer de retenue. C'est le cas de la plupart des fleuves une fois qu'ils sont arrivés en plaine, avec un débit important mais une faible pente. En France, c'est le cas du Rhône, en aval du Lac Lemman, et du Rhin. L'eau que l'on veut turbiner est en général dérivée dans un canal latéral, sur une distance suffisante pour obtenir une hauteur de chute suffisante (de l'ordre de 10 m.) Sur le Rhin, par exemple, chaque usine, en turbinant environ 1000 m<sup>3</sup>/s sur une hauteur de 10 à 15 m, a une capacité de 80 à 120 MW ; la pente générale du fleuve permet d'installer une usine de ce type tous les 30 km environ.

#### c) c) les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)

L'électricité ne peut pas être stockée, aussi cherche-t-on les moyens de stocker de l'énergie sous diverses formes. Une des plus efficaces est de la stocker sous forme d'énergie potentielle de l'eau. En heures creuses, alors que l'on dispose d'une production d'électricité excédentaire, on pompe de l'eau entre un bassin bas et un bassin haut ; en période de pointe, cette eau est turbinée pour fournir de l'électricité. Les hauteurs de chute sont en général très élevées (800 à 1000 m), les capacités des réservoirs (généralement artificiels) étant adaptées aux objectifs poursuivis. En France, la STEP de Revin est capable de fournir une puissance de pointe de 1000 MW environ et celle de Grand'Maison, 1800 MW.

#### d) d) Les différents types de turbines

La turbine va permettre de transformer l'eau qui s'échappe de la conduite en énergie de rotation. La forme et les caractéristiques des turbines dépendent des catégories d'installations hydroélectriques dans lesquelles elles sont employées :

- • La turbine Pelton, généralement réservée aux usines de haute chute (de 300 à 1800 mètres), a été mis au point par Pelton au XIXe siècle. Cette turbine est constituée d'une roue, sur la périphérie de laquelle sont fixés des séries de cuillères doubles métalliques appelées augets. L'eau sort de la conduite forcée à grande vitesse et vient percuter avec

force les augets de la roue par l'intermédiaire des injecteurs. La puissance maximale unitaire atteinte est de 400 MW.

- La turbine Francis est utilisée pour les moyennes chutes (entre 30 et 750 mètres). Elle ressemble à un cylindre évasé, divisé sur sa longueur par une série de cloisons longitudinales incurvées. Le pourtour élargi de la turbine est cerclé par une couronne percée d'une vingtaine d'ouvertures par lesquelles pénètre l'eau sous pression venant de la conduite forcée. Cette eau glisse sur les pales de la turbine et se dirige vers son cœur, d'où elle est évacuée. Lorsque l'eau s'écoule par les canaux de la turbine, elle abandonne sa pression aux pales de la turbine. C'est cette différence de pression qui est à l'origine de rotation de la turbine. La puissance maximale atteinte est de 800 MW par unité..
- La turbine Kaplan sert dans les usines de basse chute (10 à 80 m) . L'eau est canalisée par des puits ou des conduites en acier ou en béton de cinq à dix mètres de diamètres vers une chambre dont le tracé en colimaçon permet à l'eau d'arriver sur la turbine avec la meilleure efficacité. Les turbines Kaplan ont une forme d'hélices de navire. Leurs pales sont généralement orientables et permettent, par simple variation de leur inclinaison, d'ajuster la vitesse de rotation des turbines aux conditions de niveau. La puissance maximale atteinte est de 200 MW. Une variante des turbines Kaplan est celle des « groupes bulbes », pour les très basses chutes (5 à 20 m) dont la technique a été développée en France pour l'usine marémotrice de la Rance. L'alternateur est accolé à la turbine. Grâce à un système de protection étanche, ces groupes peuvent être complètement immergés dans l'eau. La puissance maximale atteinte est de 60 MW.
- Pour les STEP, on emploie soit des groupes ternaires (dont la ligne d'arbre comporte la turbine, l'alternateur et la pompe) soit des groupes avec pompes-turbines réversibles capables d'assurer turbinage et pompage (de type Francis).

### 3 . La grande hydraulique

#### 3.1 Situation en 2000

La puissance installée et l'énergie produite par les installations hydrauliques dans le monde sont présentées dans le **tableau 1**. Ces chiffres incluent également la "petite hydraulique", mais la part de celui-ci ne dépasse pas quelques %. Figurent également dans le tableau les puissances des installations en cours de construction.

**Tableau 1**

	Amérique Nord et Centrale	Amérique Sud	Europe (ouest & est)	Afrique	Asie	Océanie
Puissance installée (GW)	157	108	171	20	225	11
Electricité produite (TWh)	700	512	567	75	750	42
Puissance en cours de construction (GW)	1,2	14,8	2,2	2,3	84	-

La production hydraulique représente plus de 50 % de l'électricité générée dans 61 pays, plus de 80 % dans 31 pays et près de 100 % dans 13 pays.

En Europe, l'hydraulique fournit environ 13 % de l'électricité, et en France près de 15%.

Les grands pays qui ont une stratégie hydroélectrique forte sont notamment la Chine, l'Inde, le Brésil, l'Iran et la Turquie.

### **3.2 Avantages et inconvénients**

Comme la plupart des activités humaines et industrielles, l'exploitation de l'énergie hydraulique présente des avantages et des inconvénients, tant pour l'environnement, que pour la santé et pour les aspects sociaux.

#### a) a) pour l'environnement

Les grands aménagements hydrauliques modifient par définition les écosystèmes. Beaucoup de rivières françaises ont été aménagées, souvent dès le Moyen âge par des digues et des moulins, ou par des ouvrages d'art destinés à favoriser la navigation. Peut-on parler d'atteinte à l'environnement ? Probablement pas quand les précautions nécessaires sont prises, par exemple en sauvegardant les zones de frayage<sup>1[1]</sup>, en permettant aux poissons de remonter la rivière jusqu'à eux, et en laissant une quantité suffisante d'eau emprunter le cours normal de la rivière. Il est également essentiel que l'eau qui est turbinée poursuive sa route vers son exutoire normal : les modifications de l'environnement proviennent plutôt de prélèvements importants effectués pour d'autres usages que la production d'électricité, notamment l'irrigation ; l'exemple le plus connu est celui des fleuves qui débouchent dans la mer d'Aral et y arrivent pratiquement exsangues, ce qui a eu pour effet de provoquer un assèchement de cette mer intérieure. Ceci est d'autant plus absurde que le mauvais drainage des terres agricoles a conduit à gâcher l'eau d'irrigation sans bénéfice agricole.

Un des principaux avantages de l'énergie hydraulique, énergie renouvelable, est que, dans la plupart des cas, elle ne rejette pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Si les 20 % d'électricité d'origine hydraulique étaient produits dans des centrales à charbon, les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère seraient majorés de 500 à 600 mégatonnes de carbone contenu (600 MtC), alors qu'ils sont déjà beaucoup trop élevés. Dans certains cas, cet avantage risque d'être compensé, au moins de façon transitoire, par des rejets de méthane, gaz à effet de serre plus "efficace" que le CO<sub>2</sub>, mais à durée de vie plus courte. Lorsque la retenue de l'aménagement hydraulique couvre une importante zone à forte végétation<sup>2[2]</sup>, la décomposition des matières végétales produit du méthane rejeté dans l'atmosphère et, consomme l'oxygène contenu dans l'eau qui peut devenir impropre à la vie aquatique. Ce genre de situation est susceptible de se rencontrer dans les zones tropicales avec des retenues de faible profondeur et nécessite des mesures particulières de protection de l'environnement.<sup>3[3]</sup> Ces problèmes ont en général un caractère transitoire.

---

<sup>1[1]</sup> Un large débat est ouvert aux Etats-Unis à propos de la Columbia River et de son affluent la Yellowstone River, très largement aménagés, car les frayères auraient presque entièrement disparu. Au point que certains mouvements écologistes demandent le démantèlement de certains barrages.

<sup>2[2]</sup> Une déforestation, souvent difficile, ne suffit pas. Les troncs d'arbre noyés sous une épaisseur d'eau notable sont inertes. En revanche, les rejets verts et les sols à forte composante végétale évoluent rapidement, comme on le constate dans les marais et les zones humides, fortes émettrices de CH<sub>4</sub> (les feux follets).

<sup>3[3]</sup> Ceci a été le cas pour l'aménagement de Petit-Saut, en Guyane française, où il a fallu aérer l'eau en aval du barrage pour y restaurer une vie aquatique normale.

## b) b) pour la santé

L'énergie hydraulique a été dans de nombreux pays, et notamment en Europe, le premier moyen de produire des quantités importantes d'électricité. En France, dès 1960, l'électricité hydraulique, avec 40 TWh, représentait près de 60 % de la production. C'est dire que l'énergie hydraulique a très fortement contribué au redressement économique du pays et, par là même, à l'amélioration de la santé.

Dans les pays à climat tempéré, on ne connaît pas d'effet nocif pour la santé de l'énergie hydraulique. Dans les pays tropicaux, certains aménagements hydrauliques mal conçus conduisent à la diffusion de maladies hydriques, et notamment du paludisme et de la bilharziose (ou schistosomiase). Les problèmes rencontrés sont cependant au moins autant imputables aux réseaux d'irrigation qu'aux retenues des barrages et les traitements préventifs et curatifs existent même s'ils ne sont pas souvent mis à la disposition des populations concernées.

## c) c) sociaux

Un des principaux griefs fait à l'énergie hydraulique est qu'il nécessite souvent des déplacements de population. De tout temps, en effet, les rivières et les fleuves ont été des lieux privilégiés d'habitat.

Dans les zones de montagne, il s'agit le plus souvent de hameaux ou de terres à usages agropastoraux. Bien que traumatisant pour les quelques familles affectées, le changement peut être accompagné et il est possible de proposer à ces familles un cadre de vie peu différent que celui qu'elles connaissaient avant, confort en plus ou de les accompagner dans un changement qu'elles peuvent souhaiter ou accepter.

En plaine, les conséquences peuvent être beaucoup plus importantes, et l'impact social plus difficile à maîtriser. La mise en eau du barrage des Trois-Gorges, en Chine, s'accompagne du déplacement de près de 2 millions de personnes. Il s'agit là d'un bouleversement. Mais d'un autre côté, ce barrage permet de maîtriser les crues dévastatrices du Fleuve Jaune, qui bon an mal an, font des milliers de victimes, sans parler des dégâts matériels. Les autorités chinoises ont jugé que le bilan était globalement positif ; mais une des difficultés évidentes est que ceux qui subissent les inconvénients de ce projet ne sont pas les mêmes que ceux qui en bénéficient comme cela arrive souvent pour les grands projets d'infrastructures (aéroports, TGV..).

### **3.3 Grande hydraulique et risques industriels**

La plupart des activités industrielles comportent des risques.

Dans le cas de la grande hydraulique, ceux-ci sont liés soit à l'énorme énergie potentielle accumulée derrière les barrages de haute chute, soit aux risques de déversement de l'eau contenue dans les canaux qui amènent l'eau aux usines au fil de l'eau et qui surplombent la plaine.

Les points les plus sensibles des grands barrages sont :

- • L'appui du barrage sur la fondation naturelle
- • Le risque de glissement de terrain dans le lac de retenue, notamment en cas de séisme.

- • Le risque de dégradation progressive du barrage lui-même provoqué par des infiltrations d'eau, ou par le vieillissement des matériaux constitutifs.
- • Dans le cas des barrages en terre, ou de berges des canaux d'aménée, le risque d'érosion interne et d'apparition de renards, capables de dégénérer rapidement en rupture de l'ouvrage.

Les conséquences d'une rupture de barrage (ou de canal) pourraient être dramatiques pour les installations et les populations qui se trouvent en aval. Aussi, des précautions très importantes sont-elles prises pour assurer la surveillance des points sensibles (surveillance géologique des terrains, détection d'infiltrations d'eau, visites périodiques des ouvrages par des experts), et des plans d'urgence préparés pour assurer dans les meilleures conditions l'évacuation des populations concernées en cas d'alerte.

Malgré tout, même s'ils sont rares, des accidents arrivent : en Europe, le barrage de Malpasset dont la rupture en 1959 a entraîné l'inondation de la région de Fréjus, et le barrage de Vajont en Italie du Nord. Les effets de pluies intenses et de crues supérieures à ce qui était prévu ont causé la grande majorité des accidents de barrages en terre. A Malpasset, c'est la rupture de la fondation en rive gauche qui a été la cause de la rupture brutale du barrage. A Vajont, un glissement majeur de terrain en rive gauche a créé une vague deux fois plus haute que le barrage. Dans le monde, sur les milliers de barrages existants (dont la majorité est à finalité agricole ou d'écrêtage des crues), il y a en moyenne un accident par an ; pour les grands ouvrages destinées à la production d'électricité, peut-être parce qu'ils font l'objet d'une surveillance très stricte, la probabilité d'accident est extrêmement faible.

### **3.4 Grande hydraulique et réseau de transport d'électricité**

#### a) a) Le transport de l'électricité

Les grands ouvrages hydrauliques sont réalisés là où c'est possible, et ne sont pas nécessairement à proximité des lieux de consommation. De nombreux cas de figure sont possibles, mais nous n'en retiendrons que trois particulièrement représentatifs :

- • Insertion dans un réseau important très haute tension (THT)  
En Europe occidentale, et notamment en France, les distances entre les zones de montagne et les lieux consommation sont certes importantes, mais le réseau THT a progressivement été renforcé et la production hydraulique est écoulee directement dans ce réseau. Cette situation se retrouve, à quelques notables exceptions près, dans la plupart des pays industriels. L'acceptation sociale des lignes THT et leur sensibilité aux vents extrêmes peut conduire les pays riches à développer les lignes enterrées dont le coût est sensiblement plus élevé.
- • Transport de l'électricité à grande distance en courant continu  
Dans quelques cas, les capacités de production sont à la fois très importantes et très éloignées des lieux de consommation. C'est le cas notamment au Québec et au Brésil. Dans ces deux cas, le transport à grande distance doit se faire en courant continu afin de diminuer les pertes en lignes. Le courant continu est transformé en courant alternatif, pas nécessairement avec la fréquence de départ (50 HZ ou 60HZ selon les pays) ce qui ne simplifie pas la distribution éventuelle dans les régions traversées.
- • Localisation d'industries grosses consommatrices à proximité.  
Aux débuts de l'utilisation de l'énergie hydraulique, on a implanté les industries consommatrices dans les vallées de montagne, à proximité des ouvrages. En France par

exemple, l'électro métallurgie s'est implantée dans les vallées de la Maurienne et de la Romanche. Aux Etats-Unis, pendant la Deuxième Guerre Mondiale, les usines d'enrichissement de l'uranium, très grosses consommatrices, ont été implantées dans la Tennessee Valley.

La problématique de l'utilisation de l'électricité produite par la grande hydraulique est au cœur du développement de cette forme d'énergie dans les pays en développement. Le potentiel hydraulique de certains de ces pays, en Asie, en Amérique du Sud et en Afrique, est considérable mais les réseaux de transport sont quasi inexistant. Tout projet de développement doit donc prendre en compte à la fois les ouvrages hydrauliques eux-mêmes, les consommateurs visés, et le transport.

#### b) b) Le soutien au réseau

Les turbines hydrauliques offrent la possibilité d'une mise en route et d'un arrêt très rapide. Ceci leur confère un intérêt tout particulier pour le réglage fin du réseau THT qui doit souvent faire face à des à-coups de la consommation.

Les STEP permettent de compenser les variations de consommation entre heures de pointes, où elles fonctionnent en turbines, et heures creuses, où elles fonctionnent en pompe pour remonter l'eau précédemment turbinée.

Enfin les barrages servent à stocker l'énergie, sous forme d'énergie potentielle de l'eau, d'une saison sur l'autre, et donc de faire face à des périodes de forte consommation (dans le cas de l'Europe occidentale, l'eau de la fonte des neiges est souvent stockée pour être utilisée en hiver).

### **3.5 Economie**

L'énergie hydraulique est caractérisée par des investissements élevés, mais des coûts de fonctionnement très faibles, car le "combustible" est gratuit et l'entretien réduit.

Les dépenses d'investissements dépendent très fortement des caractéristiques de l'aménagement, et des dépenses annexes liées aux problèmes sociaux et environnementaux. Il est de ce fait pratiquement impossible de donner des chiffres normatifs.

A titre d'exemple, on peut considérer qu'un coût d'investissement de 1000 \$ par kW installé correspond à un site favorable. Le coût d'investissement d'une centrale complète utilisant une turbine à gaz à cycle combiné est d'environ 300 \$ par kW installé auxquels il faut ajouter le prix du gaz, soit entre 20\$ et 30\$ par MWH produit.

Une fois amortis, les aménagements hydrauliques procurent une rente très importante, compte tenu de leurs très faibles coûts d'exploitation.

### **3.6 Potentiel et perspectives de développement**

Le potentiel hydraulique techniquement réalisable dans le monde est considérable. Encore faut-il que l'électricité produite ait des clients, et qu'elle puisse leur être amené à un coût compétitif avec les autres formes d'énergie. On est donc amené à distinguer entre le "techniquement faisable" et l'"économiquement faisable" dans les conditions actuelles (**tableau 2**)



**Tableau 2**

<b>Potentiel</b>	<b>Techniquement faisable (TWh/an)</b>	<b>Economiquement faisable (TWh/an)</b>
<b>Amérique du Nord et Centrale</b>	1660	1000
<b>Amérique du Sud</b>	2665	1600
<b>Asie</b>	6800	3600
<b>Afrique</b>	1700	1000

On constate qu'il y a un écart important entre ce qui est techniquement faisable et ce qui l'est économiquement. Cet écart peut être dû soit aux inconvénients de tel ou tel aménagement, au coût trop élevé d'un ouvrage, à l'absence de clients à proximité, ou aux difficultés de financement, quelles qu'en soient les raisons (instabilité politique de la région, politique des institutions financières, etc.)

Le potentiel "économiquement faisable" est cependant considérable, environ le triple de la production actuelle en Amérique du Sud, près de cinq fois en Asie, et plus de 13 fois en Afrique. Il est par contre quasi nul en Europe, et limité en Amérique du Nord et Centrale. Nous reviendrons sur le cas des pays pauvres et émergents (Amérique du Sud, Asie et Afrique) dans la conclusion de ce chapitre.

## **4. La petite hydraulique**

Le terme de « petite hydraulique » désigne communément des installations de capacité inférieure ou égale à 10 MW (petites centrales hydroélectriques ; PCH). Ce seuil, lié à des considérations administratives ou juridiques, diffère selon les pays : au Brésil ou en Chine, ces limites peuvent atteindre 50 MW.

La petite hydraulique appartient à la famille des énergies renouvelables. La commission européenne, dans sa directive du 27 septembre 2001 traitant de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables, entend ainsi par source d'énergie renouvelable l'énergie hydraulique sans distinction de puissance.

En France, les catégories d'installation qui peuvent bénéficier de l'obligation d'achat<sup>4[4]</sup> en application des directives européennes<sup>5[5]</sup>, concernent néanmoins les installations d'une puissance installée inférieure ou égale à 12 MW.

<sup>4[4]</sup> L'arrêté tarifaire petite hydraulique du 25 juin 2001 fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique. Les tarifs proposés varient selon la puissance de l'installation (moins de 500 kVa, plus de 600 kVa), les dates de mise en service, le choix de l'exploitant d'avoir un tarif unique toute l'année ou de bénéficier d'un tarif d'été et d'un tarif d'hiver, la régularité inter annuelle de la prise d'eau pendant la période d'hiver tarifaire.

<sup>5[5]</sup> Directive 96/92 transposée en droit français par la loi du 10 février 2000, libéralisant le marché de l'électricité. L'article 10 de la loi du 10 février 2000 prévoit que diverses installations peuvent bénéficier de l'obligation d'achat. Il s'agit notamment des installations qui utilisent les énergies renouvelables. En ce qui concerne l'hydroélectricité, les catégories d'installation qui peuvent bénéficier de l'obligation d'achat concernent les installations d'une puissance installée inférieure ou égale à 12 MW. On entend par puissance installée d'une installation de production d'électricité la somme des puissances électriques unitaires maximales des machines électrogènes qui sont susceptibles de fonctionner simultanément dans un même établissement (décret du 6 décembre 2000).

#### **4.1 4.1 Situation en 2000**

La DGEMP (Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières) estime le parc de la petite hydraulique à environ 1700 mini-centrales, dont la production oscille autour de 7,5 TWh/an (soit près de 2% de la consommation nationale – 440 TWh - en 2000).

Au niveau européen, les puissances installées en 1998 sont données dans le **tableau 3** suivant :

<b>Pays</b>	<b>Puissance installée en MW</b>
Italie	2200
France	2000
Espagne	1548
Allemagne	1380
Suède	970
Autriche	820
Finlande	305
Portugal	245
Royaume-Uni	165
Belgique	60
Irlande	55
Grèce	44
Pays-Bas	40
Luxembourg	35
Danemark	11
Total UE	9878

Source : EurObserv'ER

## **4.2 4.2 Avantages et inconvénients**

### a) a) Les avantages et inconvénients pour l'environnement

Les petites centrales hydrauliques ne rejettent aucun déchet dans l'eau, n'affectent pas la qualité de l'eau (centrales « fil de l'eau ») et n'émettent aucun gaz à effet de serre. Le CIDFER (Centre d'Information sur l'Energie et l'Environnement) estime qu'une centrale de 1 MW produisant 5 GWh évite chaque année l'émission d'environ 5000 tonnes de CO<sub>2</sub> (1300 tonnes de C contenu) par rapport à une centrale à combustion classique (sans parler des émissions d'oxydes de soufre et d'azote). Leur développement participe donc à la lutte contre l'effet de serre et va dans le sens d'un développement durable.

Au niveau local, les impacts visuels et les nuisances sonores constituent des aspects à surveiller. Les équipements actuels permettent de limiter ces nuisances.

La perturbation des cours d'eau et de la vie aquatique constitue un autre impact qui impose des mesures adaptées : maintien d'un débit permettant la vie, la circulation et la reproduction des espèces ; dispositifs de franchissement le cas échéant pour les poissons migrateurs ; respect des pratiques et des usages sur le cours d'eau.

### b) b) Les avantages sociaux

Energie décentralisée, la petite hydroélectricité maintient ou crée une activité économique dans les zones rurales. Elle constitue une source de revenus pour les communes, une fois les installations amorties.

L'industrie européenne de la petite hydraulique représente environ 10000 emplois pour un chiffre d'affaires de l'ordre de 400 millions d'euros (EurObserv'ER). En ce qui concerne le poids économique des exploitants, le CIDFER le situe en France à environ 300 millions d'euros et 2500 emplois.

## **4.3 Petite hydraulique : une production décentralisée**

La petite hydraulique est particulièrement adaptée à la production décentralisée étant donné ses capacités d'adaptation en terme de puissance installée. Pour les sites localisés à proximité d'une ressource hydraulique, les PCH peuvent permettre l'auto-alimentation de bâtiments agricoles, industriels ou domestiques. En France, des dispositifs d'aides spécifiques existent pour l'électrification des sites isolés, en milieu urbain ou rural. Le CIFDER mentionne que sur l'ensemble des filières énergies renouvelables, un millier de sites ont été subventionnés à ce jour, permettant d'éviter la construction de 1200 km de lignes électriques.

#### 4.4 Perspectives de développement

a) a) Une réglementation européenne très volontariste pour le développement de l'énergie renouvelable

Les perspectives de développement de la petite hydraulique en Europe sont étroitement liées au contexte réglementaire constitué par la directive européenne 2001/77/CE du 27 septembre 2001 qui constitue le texte de référence en matière d'énergie renouvelable. La directive comprend notamment les points suivants :

- • La directive fixe un objectif global de 22 % pour la part d'électricité renouvelable consommée dans l'Union en 2010. En ce qui concerne la France, cet objectif est de 21% ( **tableau 4** ), alors que la part d'électricité renouvelable atteint 15% en 1999 ;
- • Un régime de soutien pour le développement des sources d'énergie renouvelables sera appliqué dans chacun des états membres, pour compenser le fait que les énergies « classiques » n'internalisent pas les coûts externes liés aux effets sur la santé et l'environnement.
- • Un mécanisme de garantie d'origine de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables sera appliqué au plus tard le 27 octobre 2003. La garantie d'origine ne garantit pas forcément l'accès au régime de soutien ;
- • Les états membres prennent les mesures nécessaires pour faire en sorte que les opérateurs de systèmes de transport et de distribution présents sur le territoire garantissent le transport et la distribution de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables.

**Tableau 4 - DGEMP : objectifs de la France pour l'électricité renouvelable**

	2000	2010
Consommation intérieure d'électricité	450 TWh	550 TWh (hyp : croissance de 1-2% par an de la consommation d'électricité)
Part de l'énergie renouvelable (21%)	77,4 TWh	115 TWh
Dont hydraulique (grande, petite et pompage)	73,6 TWh	70 TWh
Dont énergies nouvelles renouvelables	3,8 TWh (déchets urbains, déchets bois, éolien -0,1 TWh-, géothermie – 0,021 TWh)	45 TWh <i>soit 36 TWh supplémentaires</i>

b) b) Des tarifs d'achat incitatifs

En ce qui concerne le régime de soutien, en France, la publication au J.O. de l'arrêté du 25 juin 2001 pris en application du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000 et du décret n° 2001-410 du 10 mai 2001 constitue une étape importante pour les PCH.

Cet arrêté prévoit des contrats d'une durée de 20 ans et fixe les tarifs d'achat de l'électricité produite par des installations hydroélectriques qui bénéficient de l'obligation d'achat instituée par la loi du 10 février 2000.

Le tarif est fixé à 6,10 c€/kWh pour les nouvelles installations de puissance inférieure à 500 kVa et 5,49 c€/kWh pour les puissances supérieures ; une prime comprise entre 0 et 1,52 c€/kWh en hiver, selon la régularité de la production, peut s'y ajouter.

Selon le rapport annuel 2001 de la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières, « ces tarifs représentent un effort important de la collectivité en faveur de l'énergie hydraulique : ils entraîneront, pour une nouvelle puissance installée de 600 MW, une charge de l'ordre de 90 M€ par an en 2010 pour le fonds du service public de la production d'électricité ».

Ces tarifs constituent un facteur de stabilité pour la filière et devraient renforcer l'attrait des compagnies électriques européennes pour la petite hydraulique, ces compagnies devant par ailleurs anticiper la contrainte de produire une part de leur courant à partir de sources renouvelables.

#### c) c) Les facteurs limitants

Paradoxalement, alors que les PCH répondent globalement à une meilleure prise en compte de l'environnement (notamment sur la limitation de l'émission de gaz à effet de serre), le développement est limité au niveau local par des considérations environnementales relatives à la protection de la faune et de la flore.

La profession estime en effet avoir de grandes difficultés pour obtenir des autorisations administratives, en raison de l'article 2 de la loi du 16 octobre 1919 modifiée, qui a institué la faculté de classer des cours d'eau sur lesquels aucune autorisation hydroélectrique ne serait plus donnée. Ce classement est effectué par le Conseil Supérieur de la Pêche.

Des mesures sont en discussion à l'heure actuelle dans le cadre d'un groupe de travail interministériel pour l'examen d'un processus de simplification des procédures administratives. Des procédures clarifiées ou des actions de formation sont ainsi attendues pour l'éolien et l'hydraulique.

#### d) d) La contribution de la petite hydraulique aux objectifs de production d'électricité d'origine renouvelable

L'ADEME, le Syndicat des Energies Renouvelables et la DGEMP ont élaboré des scénarios de développement pour la production d'électricité renouvelable à l'échéance de 2010. En ce qui concerne les PCH, ce développement représenterait environ 5 TWh, pour 1000 MW de puissance nouvelle installée (**tableau 5**).

**Tableau 5** - DGEMP : Objectifs de la France en matière d'électricité renouvelable en 2010

Energies nouvelles renouvelables	Objectif	Contribution	Remarque
Objectif global	45 TWh		
Eolien		Env. 20-30 TWh (hyp : 10000 MW installés) env. 10-15 TWh (hyp : 5000 MW installés)	Durée de fonctionnement : 2000 heures par an pour la plupart des installations ; 3000 heures/an dans certains cas peu nombreux
Petite hydraulique		Env. 5 TWh (1000 MW installés)	Durée de fonctionnement : 5000 h/an
Biomasse		Env. 10-20 TWh	Production d'électricité avec biomasse (bois essentiellement, déchets ménagers)
Géothermie et autres		1 TWh	
Total		25-40 TWh	

Néanmoins, l'objectif de 1000 MW de puissance installée risque d'être difficile à atteindre sans modification des conditions administratives actuelles pour l'installation de nouveaux équipements, ce qui constitue une revendication de la profession.

## 5. Conclusions

L'énergie hydraulique a joué dans le passé un rôle essentiel dans le développement industriel de nombreux pays, dont la France. Aujourd'hui encore, le potentiel hydraulique économiquement réalisable permettrait une production annuelle d'électricité de 7200 TWh, soit près de 3 fois supérieure à ce qui est en service.

L'essentiel de ce potentiel correspond à la grande hydraulique, bien adaptée à une production d'électricité de masse, mais nécessitant des investissements élevés. Ce potentiel se trouve en grande majorité dans des pays pauvres ou émergents, et ne pourra être réalisé que moyennant l'aide financière des grandes institutions internationales (Banque Mondiale, Agences de crédit à l'exportation...). Or celle-ci est de plus en plus difficile à obtenir du fait d'interrogations sur les effets relatifs à l'environnement et sur les populations déplacées et de la difficulté de trouver un accord entre la volonté de développement durable des pays émergents et la manière dont les pays riches projettent leurs préoccupations environnementales et sociales dans ces mêmes pays.

La petite hydraulique est, quantitativement, beaucoup moins importante. Mais elle permet une production décentralisée et bien adaptée aux besoins de développement des économies rurales, notamment dans les pays pauvres ne disposant pas de réseaux de transport d'électricité.

Energie renouvelable, l'énergie hydraulique ne rejette pas de gaz à effet de serre. Aujourd'hui, avec une production annuelle de 2600 TWh, elle permet d'éviter de rejeter sous forme de CO<sup>2</sup> environ 0,5 Gt de Carbone, dont 90 % grâce à la grande hydraulique. Il est surprenant que cet atout de la grande hydraulique ne soit reconnu ni par les grandes institutions internationales, ni par le protocole de Kyoto sur les effets climatiques.

## Bibliographie

1. 1. La production d'énergie d'origine renouvelable dans les monde – 2<sup>ème</sup> inventaire 2000 – Ed. Systèmes Solaires 146, rue de l'Université 75007 Paris ([www.systemes-solaires.com](http://www.systemes-solaires.com))
  2. 2. D. Madet : "Hydraulique et géothermie : principes physiques et modalités d'utilisation" – Ecole d'été de physique – Caen – août-septembre 2001 ( [http ://e2phy.in2p3.fr](http://e2phy.in2p3.fr) )
-