



*CAHIERS DE RECHERCHE*

**HYDROELECTRICITE :  
DES MINI-CENTRALES  
AUX BARRAGES PHARAONIQUES**

Alain MATHIEU

Cahier N° 06.01.61

Janvier 2006

**Centre de Recherche en Economie et Droit de l'Energie  
CREDEN - Equipe du LASER**

Université de Montpellier I  
Faculté des Sciences Economiques -C.S. 79606  
34960 Montpellier Cedex 2, France  
Tel. : 33 (0)4 67 15 84 32  
Fax. : 33 (0)4 67 15 84 04  
e-mail : [alain.mathieu@univ-montp1.fr](mailto:alain.mathieu@univ-montp1.fr)

# Hydroélectricité

## Des mini-centrales aux barrages pharaoniques

Alain MATHIEU

### I) Introduction

L'énergie de source hydraulique se distingue des autres sources d'énergie renouvelables, à plus d'un titre. Relevant de techniques éprouvées, issue d'installations recouvrant une large gamme de puissances, l'hydroélectricité s'avère, de loin, la plus importante et la plus compétitive des sources d'énergie électrique renouvelables.

En matière énergétique, puissance des installations et degré de centralisation vont de pair. Très souvent, les énergies renouvelables sont strictement assimilées à des énergies décentralisées dont les installations sont, de ce fait, localisées à proximité des utilisateurs. Certes, de multiples mini-centrales correspondent à ce cas de figure mais des installations de très fortes puissances, couplées à des sources d'énergies renouvelables, sont tout aussi centralisées que celles relevant des énergies conventionnelles, thermiques ou nucléaires. C'est ainsi que l'hydroélectricité peut être issue de centrales figurant parmi les plus puissantes, toutes énergies confondues, comme celles associées au barrage binational d'Itaipu (Paraguay, Brésil), sur le fleuve Parana (12 600 MW) et à celui des Trois Gorges, sur le Yangtsé (18 720 MW). Que l'on songe, à titre de comparaison, que la plus puissante des centrales nucléaires françaises, Paluel, implantée sur la côte normande, représente une puissance installée de 5320 MW, fournie par ses quatre tranches d'une puissance unitaire de 1330 MW. Dans le même temps, sur de petites voies d'eau, l'électricité peut être fournie par des mini-centrales de 10 Kilowatts. Cette possibilité de moduler la puissance des installations en fonction du gisement exploitable et de l'importance des utilisateurs à desservir constitue une des spécificités des énergies renouvelables par rapport aux énergies conventionnelles.

Des objectifs à géométrie variable sont assignés aux infrastructures hydroélectriques, ces investissements ayant de multiples implications et répercussions. En témoignent quelques références à des investissements hydroélectriques déjà réalisés ou programmés pour les années à venir. Naguère symboles, à l'Ouest, des grands travaux keynésiens et, à l'Est, s'insérant dans d'ambitieux plans étatiques, la construction de gigantesques barrages hydroélectriques, comme celle d'ouvrages de tailles modestes, se trouve confrontée à un faisceau convergent de critiques.

De la diversité des objectifs présidant à l'édification des barrages hydroélectriques, envisagée dans un premier temps, découlent de multiples implications et répercussions.

### II) Des objectifs marqués par la diversité

La production énergétique constitue, bien entendu, la fonction essentielle des installations hydroélectriques mais, à travers ces investissements, de multiples objectifs collatéraux sont souvent poursuivis par leurs initiateurs.

## **A) Objectifs énergétiques**

L'hydroélectricité est issue à la fois de petites turbines décentralisées et de puissantes installations desservant une part importante de la population des pays exploitant une ressource nationale abondante.

### **1) L'hydraulique, au service d'une énergie décentralisée**

Quel que soit leur stade de développement, les Etats sont forcément amenés, du fait des tensions sur les marchés, à exploiter toutes les potentialités énergétiques nationales, à réaliser un bouquet énergétique le plus diversifié possible, même si certaines sources d'énergie électriques s'avèrent très marginales.

De multiples motivations conduisent à l'exploitation de mini-centrales hydrauliques, que ce soit dans les pays développés ou dans le cadre de la mise en place d'une économie solidaire dans les pays en développement.

a) Des motivations publiques à la satisfaction d'intérêts privés.

Des obstacles techniques, géographiques, financiers, peuvent s'opposer au raccordement d'un habitat dispersé au réseau électrique national. Les pouvoirs publics sont donc amenés à favoriser le recours à des installations exploitant des énergies renouvelables. C'est la politique mise en œuvre par EDF qui, par exemple, préfère assumer le coût d'une installation de solaire photovoltaïque, ou d'énergie éolienne, plutôt que de raccorder au réseau, à un coût prohibitif, quelques habitations ou fermes dispersées.

Des motivations sociales plaident aussi pour la mise sur pied de petites installations fournissant chaleur et même électricité, à des populations ayant des conditions de vie précaires. Dans les pays en développement, plusieurs ONG signalent le recours au solaire thermique ainsi qu'à des mini-centrales hydrauliques pour améliorer les conditions d'existence de populations vivant dans des vallées isolées, comme dans le massif de l'Himalaya. Se faisant, le recours à ces énergies renouvelables permet de réduire les pollutions, les maladies afférentes à l'utilisation de bois et de bouses comme combustibles dans des installations défectueuses. L'extension de leurs utilisations permettrait, également, d'enrayer la déforestation, ce qui présente un intérêt vital dans les zones quasi-désertiques.

Motivations sociales et économiques se rejoignent pour fournir un minimum d'énergie électrique à des foyers isolés. En effet, surtout dans les PVD, les pouvoirs publics veulent éviter un exode rural massif se traduisant par un véritable démantèlement du territoire conduisant à l'asphyxie des zones urbaines. Dans les pays développés, avec une acuité bien moindre, ce risque de voir de vastes régions désertifiées a parfois conduit les pouvoirs publics à privilégier le recours aux énergies renouvelables pour favoriser le maintien de populations sur tout le territoire.

Il est clair que c'est grâce à la solidarité nationale, et internationale pour les pays en développement, que de telles installations peuvent voir le jour, leur surcoût ne pouvant être supporté par les populations en bénéficiant.

Au delà des préoccupations relatives à l'aménagement du territoire, le recours à des mini-centrales hydrauliques procède de la volonté d'exploiter l'ensemble du potentiel énergétique du pays. Celle-ci se manifeste dès lors qu'ont été réalisées les

grandes infrastructures hydrauliques représentées par la construction des centrales au fil de l'eau, comme sur le Rhône, ou au pied de grands barrages.

En France, la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique, adoptée par le parlement, le 23 juin 2005, rappelle l'objectif, défini par la directive européenne du 27/9/2001, à savoir que, d'ici 2010, 21% de la consommation électrique du pays devront être assurés par des énergies renouvelables, soit 7 points de pourcentage de plus qu'en 2005. L'apport de l'hydroélectricité et le décollage de l'énergie éolienne devraient essentiellement contribuer à atteindre cet objectif mais la nécessité de faire appel aux autres énergies renouvelables est rappelée, surtout en période de tensions sur les marchés pétroliers.

Les tensions sur le marché de l'énergie ont donc poussé les pouvoirs publics à fixer des tarifs attractifs de rachat par EDF de l'électricité produite par des particuliers ou des sociétés afin de rentabiliser la production d'électricité à partir de mini-centrales indépendantes.

Au-delà des considérations macroéconomiques, des intérêts privés conduisent à l'exploitation de mini-centrales hydrauliques. De longue date, des entreprises très dépendantes de l'approvisionnement énergétique, ont eu recours à l'énergie hydroélectrique, même de façon marginale, grâce à des installations turbinant les eaux, notamment sur des canaux de dérivation. C'est ainsi que de nombreuses PME du secteur de la meunerie, industrie lourde de l'agroalimentaire, gourmande en énergie électrique, installées à proximité d'un cours d'eau ou d'un canal et travaillant la nuit pour profiter des tarifs heures creuses d'EDF, disposaient d'une production électrique propre, certes marginale mais qui allégeait la facture énergétique. Considération mise à l'imparfait, même si de telles installations subsistent encore, du fait du processus de concentration ayant conduit à la mutation totale de ce secteur d'activité.

#### b) Mini-centrales hydrauliques et « courant écologique »

D'aucuns dénie le caractère écologique à l'hydroélectricité. L'édification de barrages entraîne toujours de virulentes critiques sur le plan environnemental, même s'il s'agit de petites ou moyennes infrastructures.

Dans les zones montagneuses, où les dénivelés sont importants entre les lieux de captage des eaux et les villes à approvisionner, des mini-centrales électriques peuvent être installées sur les réseaux d'eaux potables. Le turbinage de ces eaux permet ainsi une production d'électricité d'origine renouvelable respectueuse, à tout point de vue, de l'environnement, et qui présente l'avantage supplémentaire de réduire le coût de l'adduction d'eau. La Suisse, compte tenu de sa situation géographique et de sa politique en faveur des énergies renouvelables, a multiplié ce type d'installations sur son territoire. Cf. « *Eau potable. L'énergie coule de source* » (énergie extra, 6.03. Décembre 2003). Ainsi, les autorités sont-elles amenées à faire feu de tout bois...

A la sortie des stations d'épuration, des mini-centrales électriques peuvent également turbiner les eaux charriées par les réseaux des égouts : cette petite hydroélectricité représente des solutions originales, très décentralisées, relativement au problème de l'approvisionnement énergétique et propres, eu égard au respect de l'environnement !

## 2) Des installations moyennes aux infrastructures pharaoniques

L'hydroélectricité assure une part plus ou moins importante de l'approvisionnement électrique des pays les mieux dotés en la matière. Même importantes en valeur absolue, les productions énergétiques ne sont pas toujours à la hauteur des besoins des pays. Aux Etats-Unis, gros producteurs d'hydroélectricité, celle-ci ne représente qu'une part marginale de l'approvisionnement électrique, contrairement à la Norvège, sixième producteur mondial, qui assure près de 99% de son approvisionnement électrique grâce à l'hydroélectricité.

### Les gros producteurs d'hydroélectricité

Année 2003

Pays	Production hydroélectrique en TWh	Part dans la production d'électricité
Canada	335,9	57,9%
Brésil	304,3	84,2%
Etats-Unis	269	6,8%
Chine	259,3	13,6%
Russie	160	17,5%
Norvège	106,1	98,9%
Union européenne	305,8	11,1%
France	64,3	11,4%
Production mondiale d'hydroélectricité	2658,2	16%

Source : Observ'ER-EDF. « La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde ». Sixième inventaire, édition 2004.

La convergence de multiples motivations a souvent présidé à la mise en œuvre d'une politique de grands travaux hydroélectriques.

L'existence d'importantes ressources énergétiques renouvelables sur leurs territoires constitue un atout considérable que tous les Etats veulent valoriser, surtout en périodes de crises de toutes sortes. C'est en particulier le cas pour les aménagements hydroélectriques des grands réseaux hydrographiques. Certes, de multiples raisons sont invoquées pour justifier la mise en œuvre de projets véritablement pharaoniques. En fait, il s'agit essentiellement de produire de l'électricité. Le projet est souvent représenté à travers l'imbrication de multiples objectifs, la conjonction d'autres motivations d'ordre politique et économique, poussant également les pouvoirs publics à mettre en œuvre de tels investissements.

Les crises énergétiques, la nécessité d'éviter les goulets d'étranglement en matière énergétique pour nourrir le développement et la croissance poussent les pouvoirs publics à exploiter, au mieux, leurs sources d'énergie nationales. La ressource hydraulique a permis aux pays bien pourvus par la nature d'accroître leur autonomie, voire de réaliser leur indépendance quant à la production d'énergie électrique. En témoignent l'édification du grand barrage d'Assouan, qui a permis à l'Egypte d'accroître fortement sa production d'électricité, ainsi que les politiques mises en œuvre, dans le domaine de l'hydroélectricité, par la Norvège, le Canada, le

Brésil, la Chine, etc. Les tensions politiques internationales ne peuvent que renforcer cette volonté d'achever l'équipement hydroélectrique des divers fleuves.

Des grands barrages sont édifiés avec pour seul objectif de produire de l'électricité. C'est le cas, par exemple, au Canada avec les investissements massifs d'Hydro-Québec et en Norvège.

Lorsque les besoins énergétiques sont particulièrement intenses et la ressource hydraulique relativement insuffisante, eu égard à l'importance des besoins énergétiques, des opérations de pompage-turbinage peuvent améliorer significativement le bilan hydroélectrique.

Le turbinage des eaux refoulées derrière les barrages permet d'améliorer le score de la production hydroélectrique, surtout dans les pays disposant d'installations moyennes. C'est notamment le cas dans l'Union européenne et particulièrement en France. Les gros producteurs mondiaux, à l'exception des Etats-Unis, ne recourent que fort peu, voire pas du tout, aux opérations de pompage-turbinage.

### Production hydroélectrique issue du pompage-turbinage

Année 2003

Etats	En % de la production hydroélectrique
Canada	0,03
Etats-Unis	9,7
Brésil	0
Norvège	0,5
Union européenne	8,8
France	8,1
Russie	1,1
Chine	0
Echelon mondial	2,9%

Données Observ'Er-EDF.  
Sixième inventaire, 2004.

Les pompes réversibles installées sur les centrales de barrages permettent de faire face à deux problèmes, l'un lié à l'énergie hydroélectrique, l'autre qui lui est extérieur mais qu'elle permet d'atténuer.

L'hydroélectricité est fortement dépendante des aléas climatiques. C'est là où le bât blesse. L'inconstance de la nature peut entraîner d'importantes variations dans la production d'électricité. Les données fournies par EDF montrent l'importance de ces variations en France. Le refoulement des eaux derrière les barrages permet d'anticiper ces aléas. La Norvège qui dépend presque exclusivement de l'hydroélectricité ne peut se permettre d'encourir un risque de rupture dans ses approvisionnements. Pour pallier ces risques, les pouvoirs publics ont constitué des réservoirs afin de sécuriser l'approvisionnement des centrales hydroélectriques du pays.

Durant les heures creuses, les excédents énergétiques des centrales fonctionnant en continu permettent de stocker l'eau, à défaut de pouvoir stocker l'énergie en l'état. Certes, globalement, le bilan énergétique du pompage-turbinage n'est pas idéal mais l'opération s'avère un moindre mal.

Les taux de croissance élevés des nouvelles puissances industrielles, comme la Chine, l'Inde, nourrissent une demande accrue sur les marchés des matières premières favorisant l'envol des cours, notamment dans le domaine énergétique. A cet égard, le recours à l'hydroélectricité présente un grand intérêt pour les Etats bien dotés par la nature. Le barrage des Trois Gorges va fournir à la Chine une production électrique comparable à celle de plusieurs centrales nucléaires lui permettant de couvrir 10% de sa consommation électrique.

## **B) Objectifs collatéraux**

Du fait de leur importance, de leur emprise sur le territoire, les infrastructures hydroélectriques ne sont pas au service de la seule politique énergétique. A ces investissements, les pouvoirs publics assignent également des objectifs sortant de la sphère énergétique.

### **1) Des investissements au service de régimes politiques**

Afin d'éradiquer diverses crises ne relevant pas forcément de la sphère énergétique, les pouvoirs publics ont souvent programmé de grands travaux hydrauliques. De multiples réalisations en la matière s'insèrent dans des programmes ou plans destinés à combattre de graves crises économiques, des pénuries énergétiques, que ce soit dans le cadre de pays pratiquant une économie de marché ou de pays ayant instauré une planification impérative.

Dans le cadre du *New Deal* de F.D.Roosevelt, mis en œuvre entre 1929 et 1932, l'édification de barrages hydroélectriques s'est avérée une composante essentielle d'une politique de grands travaux. Pour les pouvoirs publics, mettant en œuvre une politique de type keynésien, il s'agissait de combattre une crise économique majeure à travers l'instauration d'agences, comme la *Tennessee Valley Authority*.

Le gigantisme a souvent été mis au service de régimes politiques très dirigistes. Les gouvernements ne sont pas insensibles au fait de compter parmi les retombées de lourds investissements, un important retentissement international. Le grand barrage d'Assouan, par exemple, devait certes permettre de poursuivre de multiples objectifs d'ordre énergétique, économique, mais a aussi représenté pour l'Egypte la vitrine d'un régime, alors que l'URSS, bailleur de fonds finançant l'investissement, recherchait un renforcement de son influence dans le monde.

Les tensions politiques avivant les risques de pénuries énergétiques poussent tous les gouvernements à opter pour des schémas de développement forcément dépendants des potentialités de leurs Etats. Energie et puissance économique sont étroitement liées.

### **2) Aménagement du territoire et lutte contre la pollution**

L'édification de grands barrages s'inscrit, souvent, dans le cadre d'une politique énergétique mais d'autres effets sont espérés de telles réalisations : régularisation du débit du fleuve, augmentation de la production agricole grâce à l'irrigation, meilleure alimentation en eau potable de la population, limitation du recours aux énergies fossiles.

La maîtrise du débit des fleuves est pratiquement toujours présentée comme un des objectifs collatéraux poursuivis lors de l'édification de grands barrages

hydroélectriques. Outre leur fonction énergétique, les barrages hydroélectriques permettent de dompter des fleuves impétueux. Ainsi le Rhône a-t-il été transformé en voie navigable. De même, les barrages d'Assouan et des Trois Gorges ont-ils été conçus pour favoriser la navigation sur le Nil et le Yangtsé et éviter la répétition de terribles inondations. Au temps du *New Deal*, la régularisation du cours du Tennessee figurait aussi au rang des objectifs poursuivis par la *Tennessee Valley Authority*.

Dans des pays où la progression démographique est particulièrement élevée, la constitution d'une vaste retenue d'eau permet d'irriguer des terres jusqu'alors totalement incultivables. Ce fut le cas en Egypte où le lac Nasser s'étendant derrière le grand barrage d'Assouan a permis d'irriguer 850 000 hectares de terres.

La ressource hydraulique fait l'objet d'usages pouvant s'avérer concurrents. C'est ainsi que dans les périodes de sécheresse, les pouvoirs publics peuvent être amenés à demander aux compagnies électriques d'opérer des ponctions supplémentaires sur leurs réserves hydrauliques afin de soutenir le débit des cours d'eau et de faire face aux besoins en irrigation des exploitations agricoles. Autant de fuites qui risquent de minorer la production hydroélectrique future, si les conditions climatiques défavorables persistent. EDF est confrontée à ce dilemme.

Energie renouvelable n'émettant pas de gaz à effet de serre, l'hydroélectricité permet de lutter contre la pollution atmosphérique en limitant le recours aux énergies fossiles.

De nombreux pays comme la Chine, l'Allemagne, la Russie et des anciennes républiques soviétiques, font largement appel au charbon et au lignite pour alimenter leurs centrales électriques. Le recours à cette énergie fossile entraîne de graves atteintes à l'environnement, notamment du fait de l'émission de gaz à effet de serre et de l'emprise sur le territoire des mines de lignite et de charbon à ciel ouvert.

Dans des pays comme la Chine, la très forte croissance économique implique un développement rapide des capacités énergétiques. La Chine dispose d'un parc important de centrales au charbon extrêmement polluantes. Sans doute serait-il vain d'attendre un démantèlement de ces installations dans un proche avenir, compte tenu de l'importance des gisements charbonniers du pays et de la pénurie énergétique mais le recours accru à l'hydroélectricité, comme à l'électronucléaire qui ne dégagent aucun gaz à effet de serre, permet tout au moins d'éviter une emprise encore plus élevée du charbon dans le bilan énergétique du pays. De plus, le coût humain de l'exploitation des mines est particulièrement élevé. Compte tenu de l'état des exploitations minières chinoises, les mineurs sont souvent confrontés à des risques majeurs.

C'est notamment au nom de la lutte contre la pollution atmosphérique générée par les centrales alimentées par des énergies fossiles, surtout le charbon, émettrices de gaz à effet de serre, que l'Agence Française de Développement (AFD) a décidé de participer au financement du grand barrage hydroélectrique de Nam Theun 2, au Laos. En effet, à partir de 2009, année de démarrage de son exploitation, le Laos exportera 90% de l'électricité produite par ce barrage vers la Thaïlande dont les centrales sont surtout alimentées au charbon.

### **III) Des infrastructures aux multiples implications et répercussions**

Les barrages hydroélectriques sont très structurants, eu égard à l'environnement. Les implications et répercussions de tels ouvrages sont à la mesure des investissements projetés et réalisés.

#### **A) Des implications en amont des réalisations**

L'eau constituant une ressource stratégique vitale, les aménagements hydrauliques, financièrement très lourds, peuvent impliquer des accords internationaux ou, à l'opposé, devenir sources de tensions internationales aiguës.

##### **1) Des implications diplomatiques**

Dés lors qu'un fleuve traverse le territoire de plusieurs Etats, des aménagements ponctuels entraînent forcément des répercussions sur la totalité de son cours. C'est alors aux diplomates de conclure des accords internationaux appréhendant la mise en oeuvre de l'ensemble des projets. Ainsi des accords entre l'Egypte et le Soudan ont-ils été conclus quant à la répartition des eaux du Nil, contenues par le barrage d'Assouan. A fortiori, le barrage binational d'Itaipu sur le Parana, impliquait-il un accord entre le Brésil et le Paraguay définissant les charges respectives inhérentes à l'investissement et à la répartition de l'électricité produite. Il s'agit là de questions extrêmement sensibles sur le plan énergétique, ayant trait à la souveraineté et à un bien vital, l'eau, ce qui accentue la vigilance des Etats dans les zones quasi-désertiques.

Lorsque la ressource est rare, des tensions extrêmes opposent les Etats. C'est le cas au Proche-Orient, où les Etats riverains du Jourdain se disputent les eaux du fleuve, d'ailleurs beaucoup plus à des fins d'irrigation que pour produire de l'énergie. Les prélèvements opérés sur le fleuve sont tels qu'ils ont entraîné une forte réduction de la superficie de la Mer Morte.

Des infrastructures hydroélectriques peuvent être surdimensionnées par rapport aux besoins énergétiques d'un pays disposant d'une ressource hydraulique importante. La production électrique est alors largement, voire totalement, destinée à l'approvisionnement de pays voisins. C'est ainsi que le Laos a programmé des investissements massifs dans la construction de barrages, les exportations d'électricité vers la Thaïlande devant être sources d'entrées de devises.

##### **2) Des investissements à forte intensité capitalistique**

Traditionnellement, les grandes institutions internationales, telles la Banque Mondiale, participent largement au financement de la construction des grands barrages. Il fut un temps où elles réduirent leur financement du fait des multiples critiques formulées à l'encontre des conséquences dommageables provoquées par ces grands barrages. Leurs effets pervers ont été notamment dénoncés par la Commission Mondiale des Barrages, mise sur pied par la Banque Mondiale, précisément pour étudier toutes les répercussions liées aux grands travaux hydrauliques.

Les mises en garde adressées par les organisations de défense de l'environnement n'ont pas durablement influencé les grandes institutions financières internationales. En témoigne, la décision de la Banque Mondiale, adoptée en mars

2005, de financer l'édification au Laos du grand barrage hydroélectrique de Nam Theun 2.

Le financement de ces grandes infrastructures est devenue une préoccupation primordiale pour les membres de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB). Les débours sont tellement élevés que ce sont des pools financiers qui associent les grandes institutions internationales, les Etats et les banques, pour permettre à des pays en développement de procéder à ces investissements. C'est ainsi que les grands travaux relatifs au barrage de Nam Theun 2, dont les installations dégageront une puissance électrique de 1075 mégawatts, sont notamment financés par EDF International (EDFI), la Banque Mondiale, la Banque Asiatique de Développement, l'Agence Française de Développement. Ces concours sont indispensables puisque les investissements afférant à Nam Theun 2, d'un montant de 1,58 milliard de dollars, seront équivalents au PIB du Laos.

L'ensemble des investissements hydroélectriques, destinés à approvisionner la Thaïlande, représenterait 3,3 fois le PIB du Laos. (Sources : Ministère des Affaires étrangères et Ambassade de France au Laos).

Le coût de ces infrastructures est d'autant plus élevé que s'impose le maillage du territoire à travers une densification des réseaux électriques. Les centrales turbinant les eaux des grands barrages doivent être raccordées à un puissant réseau d'électrification desservant d'importantes populations, au travers de vastes aires géographiques. Les centrales associées au barrage des Trois Gorges vont fournir 10% de la consommation d'électricité de toute la Chine mais cette nécessité de procéder, simultanément, à l'édification de puissantes installations de production électrique et d'un réseau de distribution à leur mesure, s'impose pour toutes les sources d'énergie centralisées, qu'elles soient conventionnelles ou renouvelables. Compte tenu de l'importance de ses besoins en matière énergétique, la Chine a d'ailleurs développé une politique ambitieuse puisque près de la moitié des 40 000 grands barrages édifiés dans le monde se trouve sur son territoire mais sa production hydroélectrique, du fait de l'importance de ses besoins, représente seulement 14% de son approvisionnement électrique.

## **B) Des répercussions en aval des réalisations**

Le coût des infrastructures, lié à la grande hydroélectricité, est certes très lourd mais le retour sur investissement peut être élevé. Par contre, au-delà des seuls aspects financiers, les dégâts collatéraux liés à ce type d'investissements sont de plus en plus dénoncés.

### **1) Un coût du kWh très compétitif**

Les investissements opérés dans les installations hydroélectriques sont particulièrement lourds mais du fait de la faiblesse des coûts liés à l'exploitation d'une ressource que la nature se charge de renouveler plus ou moins régulièrement, le prix du kWh obtenu est souvent particulièrement faible. L'hydroélectricité, principale source d'énergie électrique renouvelable, peut donc s'avérer extrêmement compétitive. C'est ainsi qu'en France, d'après les données de la DGEMP, les coûts du kWh hydroélectrique peuvent avoisiner ceux du kWh issu des installations nucléaires. La performance est donc particulièrement significative, ce qui n'exclut pas des cas de figures où le kWh hydroélectrique s'avère beaucoup moins compétitif.

## Coûts comparés du kWh en centimes d'euro (hors taxe)

Année 2003

### ENERGIES RENOUVELABLES :

Biomasse	5 à 15
Eolien	5 à 13
Photovoltaïque	25 à 125
Hydraulique	2 à 10
Géothermie	2 à 10
Energie marémotrice	8 à 15

### ENERGIES NON RENOUVELABLES :

Nucléaire	3,2 à 3,5
Charbon	3,7 à 4
Gaz (cycle combiné)	3,2 à 4,3

Source DGEMP 2003

## 2) Barrages et dégâts collatéraux

Très structurants, eu égard à l'environnement, les ouvrages hydroélectriques, quelle que soit leur taille, ne font pas toujours l'unanimité. En effet, d'aucuns soulignent l'importance des dégâts collatéraux entraînés par de telles infrastructures.

La construction des grands barrages fait l'objet de critiques d'autant plus vives qu'il s'agit d'installations gigantesques. En effet, de multiples répercussions dommageables ont été recensées, notamment par E. Goldsmith et N. Hildyard ("*The social and environmental impacts of large dams*". Cornwall, UK, Wadebridge Ecological Centre, 1984).

L'envasement et l'accumulation progressive des sédiments derrière les barrages réduisent progressivement leur capacité de rétention des eaux et donc leur aptitude à remplir dans leur intégralité toutes les fonctions, pour lesquelles ils ont été édifiés. Les capacités de production hydroélectrique, d'irrigation, de captages divers sont donc, à terme, amoindries.

Les sédiments piégés en amont des barrages font défaut aux zones qui en aval étaient traditionnellement fertilisées par les fleuves. Reste à savoir si, à terme, l'opération doit être globalement positive sur le plan de la production agricole. C'est le gros problème auquel se trouve confrontée l'Égypte. En amont du grand barrage, le lac artificiel a certes permis d'irriguer des terres autrefois incultivables, néanmoins, en aval, la fertilité des terres s'est trouvée réduite, du fait de la diminution des apports d'alluvions et de la remontée du sel. En effet, le débit du Nil, dans son delta, s'est considérablement réduit suite à l'édification du barrage.

La submersion de vastes territoires entraîne un coût humain considérable. Manifestement, les estimations sont délicates puisque la Commission Mondiale des Barrages estime que, jusqu'en 2003, l'édification des grands barrages a entraîné le déplacement de 40 à 80 millions de personnes. Le déracinement des populations, la perte de vastes zones de terres fertiles recouvertes par les eaux, l'anéantissement

d'un patrimoine historique, archéologique, sont à porter au débit de nombre de grands barrages.

Les dégâts écologiques liés aux modifications climatiques provoquées par la constitution d'immenses étendues d'eau, les atteintes portées à la faune et à la flore sont également à porter au passif de ces grands travaux.

Prenant le contre-pied des tenants de ces grands travaux, d'aucuns considèrent que c'est à un véritable déménagement du territoire auquel sont condamnées les populations.

Toutes les motivations, étroitement imbriquées, qui ont conduit à l'édification des grands barrages se sont avérées tellement puissantes que les pouvoirs publics ont balayé les objections formulées contre le gigantisme et les effets pervers de ces investissements. A posteriori, des effets dévastateurs de la construction de grands barrages ont été dénoncés sur l'environnement, sur le plan social et même en matière économique, notamment dans les pays en développement. Ce constat avait amené la Commission Mondiale des Barrages, à inviter la Banque Mondiale à modifier sa politique favorable à ce type de grands travaux. (Rapport de la Commission Mondiale des Barrages (WCD) : « *Barrages et développement : un nouveau cadre de prise de décision* ». Novembre 2000.)

L'installation de mini-centrales hydrauliques n'est pas à l'abri des critiques écologiques. Tout aménagement des cours d'eau entraîne de multiples polémiques. Vont donc s'opposer les divers acteurs concernés par la gestion et la protection des milieux naturels, industriels et pêcheurs, défenseurs de la flore et des espèces aquatiques. Ainsi, en France, le Syndicat des Energies Renouvelables (SER), qui souhaite que ses adhérents puissent exploiter largement la ressource hydraulique, s'oppose-t-il actuellement au projet de loi sur l'eau et les milieux aquatiques. Selon le SER, le dispositif préservant un minimum de 10% du débit moyen des cours d'eau, (5% pour les voies d'eaux importantes), risquerait d'amputer de 5% la production française d'hydroélectricité.

Le législateur souhaite maintenir « la continuité écologique » des cours d'eau, éviter l'accumulation des alluvions derrière les barrages, faire respecter la faune et la flore afin d'éviter la multiplication des obstacles à la circulation des poissons migrateurs. Certes, les saumons ne sont pas oubliés, mais ce débit minimal, inscrit dans le projet de loi, excessivement important selon les industriels, apparaît, au contraire, bien insuffisant pour les défenseurs des milieux aquatiques et de l'environnement.

Les militants d'une protection renforcée de la nature mettent en avant les effets pervers des retenues d'eau et s'avèrent donc hostiles à leur extension. Ils estiment qu'il convient de limiter, autant que faire se peut, les dégâts procurés par les installations existantes. D'ailleurs, il est à noter que les pouvoirs publics, prenant en compte toutes les critiques, ont parfois décidé la destruction de petits barrages. C'est le cas en France, où pour la première fois, en 1998, a été mise en œuvre « l'effacement » de barrages hydroélectriques d'EDF, sur le bassin de la Loire, avec la destruction du barrage de Saint Etienne de Vigan sur l'Allier et de Maisons rouges, dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature. Les associations de défense du bassin de la Loire souhaitent, en effet, restaurer le cadre naturel du fleuve, notamment pour favoriser le retour des migrations de saumons.

Le projet de loi français, sur l'eau et les milieux aquatiques, s'inscrit dans le cadre global de la mise en œuvre, d'ici 2015, de la directive cadre de l'Union européenne, émise en décembre 2000, dans le domaine de l'eau. L'Union européenne entend que les Etats membres, et la France est particulièrement visée

en la matière, s'attachent à améliorer la qualité des eaux, et fixent un plan de gestion de la ressource.

Dès lors que la construction des barrages n'a pas pour motivation la production d'énergie, des infrastructures modestes sont souvent prônées pour éviter les multiples conséquences dommageables pour l'environnement inhérentes aux grands barrages. Nous sortons alors de la sphère énergétique : les eaux des lacs ou des barrages collinaires ne sont pas turbinées mais collectées afin d'assurer le maintien des nappes phréatiques, l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable des populations et le maintien de pâturages.

#### **IV) Eléments de synthèse**

Les perspectives de développement de l'hydroélectricité sont très hétérogènes. Dans les pays développés disposant de ressources financières importantes, les grands gisements hydroélectriques sont pratiquement tous exploités, depuis longtemps, comme en France métropolitaine. L'exploitation éventuelle de petits gisements résiduels, relevant de mini-centrales, n'affecterait que très marginalement les bilans énergétiques nationaux. A l'opposé, d'importants potentiels d'exploitation demeurent dans les pays en développement mais l'élaboration d'un plan de financement, notamment auprès des grandes institutions internationales, constitue un préalable indispensable au lancement des travaux. Par exemple, ce n'est qu'après de multiples attermoissements que fut trouvé le financement du grand barrage hydroélectrique laotien de Nam Theun 2, dont la première pierre a été posée fin 2005.

Selon l'importance de la ressource en eau, l'hydroélectricité représente une énergie de base assurant une part quasi-exclusive de l'approvisionnement électrique du pays, comme en Norvège, ou une énergie de pointe, ce qui est le cas en France.

En France, complémentarité et interdépendance peuvent unir l'hydroélectricité, première source renouvelable d'énergie électrique et l'énergie électronucléaire, première source d'énergie électrique nationale.

Complémentarité, du fait de la nécessité de faire face à la forte amplitude de la consommation énergétique enregistrée au cours de la journée et au fil des saisons. Le réseau électrique est essentiellement alimenté par les centrales électronucléaires fonctionnant en continu, qui fournissent donc une énergie de base. En complément, aux heures de forte consommation, il est fait appel à l'hydroélectricité, énergie de pointe, « stockée » derrière les barrages, dont le délai de réponse aux sollicitations formulées par EDF est particulièrement rapide. Par ailleurs, le parc de centrales conventionnelles permet de pallier les chutes de la production hydroélectrique inhérentes aux aléas climatiques.

Interdépendance, du fait même des caractéristiques propres à ces énergies de base et de pointe. L'énergie excédentaire produite aux heures creuses par les centrales électronucléaires fonctionnant en continu ne pouvant pas, actuellement, être stockée telle quelle, peut être utilisée pour refouler l'eau derrière les barrages, eau qui sera turbinée, par la suite, aux heures de pointe. C'est en quelque sorte une énergie potentielle qui est ainsi « stockée ». De ce fait, l'énergie électronucléaire permet d'améliorer le score de la production hydroélectrique. Dans l'autre sens, l'eau étant nécessaire pour le refroidissement des centrales électronucléaires, les lâchers et turbinages des eaux de barrages peuvent favoriser la production électronucléaire. C'est ainsi que le soutien des débits d'étiage de l'Allier et de la Loire, figure parmi les motivations ayant conduit à la construction de vastes barrages-réservoirs dont celui

de Naussac, en Lozère. Le refoulement derrière les barrages, comme ceux opérés dans l'Allier pour accroître la réserve de Naussac, grâce à des pompes réversibles, permet ainsi d'absorber les excédents de production d'énergie électrique aux heures creuses en vue de faire face rapidement aux pics de consommation enregistrés aux heures de pointe.

Les énergies renouvelables ne sont pas à l'abri de critiques, d'aucuns considérant qu'elles ne sauraient toujours constituer la panacée. L'énergie hydraulique se trouve donc confrontée à un faisceau de contestations, qu'il s'agisse d'installations figurant parmi les plus modestes ou qu'elles affichent des puissances considérables ; mais existe-t-il une seule source d'énergie faisant l'unanimité ? Les atteintes portées à l'environnement par les infrastructures relatives aux énergies hydraulique, éolienne, solaire, sont souvent soulignées. Energie renouvelable ne signifierait pas forcément énergie « douce ».

Echappent aux critiques quelques mini-installations comme celles qui équipent en Suisse les réseaux d'eaux potables. En l'occurrence, « *small is beautiful* », mais même à une petite échelle, les retentissements pervers sur l'environnement de barrages hydroélectriques ont été souvent dénoncés et ont même conduit à leur démantèlement. En fait, en raisonnant en terme de complémentarité et non d'opposition, il est clair que l'ensemble des sources d'énergie électrique, conventionnelles et renouvelables, doit permettre d'assurer au mieux un approvisionnement des populations plus ou moins dispersées sur les territoires, que ce soit dans les pays développés ou dans le cadre des pays en développement, grâce à la constitution d'un bouquet énergétique composé en fonction des ressources propres à chaque Etat.

Les besoins énergétiques sont tels qu'il paraît vain d'exclure le recours à telle ou telle source d'énergie, d'opposer ressources énergétiques renouvelables et conventionnelles. D'aucuns conçoivent des schémas totalement opposés, très exclusifs, privilégiant un type d'énergie, alors que les tensions sur les marchés énergétiques conduisent, de plus en plus, les Etats à exploiter au maximum toutes leurs ressources, qu'elles soient conventionnelles ou renouvelables.

## BIBLIOGRAPHIE

Benhaddadi M., Olivier G. "L'énergie dans le monde, au Canada et au Québec".

CEA. Saclay, Le journal. « L'électricité en France », 20 avril 2003.

Commission européenne :

COM (1996) 576, nov. 1996. « Livre vert – L'énergie pour l'avenir: les sources d'énergie renouvelables ».

Com (1997) 599, final, 26 nov. 1997 « Livre vert – L'énergie pour l'avenir: les sources d'énergie renouvelables ».

Commission mondiale des barrages (WCD). Rapport : « Barrages et développement : un nouveau cadre de prise de décision ». Novembre 2000.

énergie extra 6.03. Décembre 2003. Informations de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et de Suisse Energie.

Europa. « Dimension septentrionale de la politique énergétique de l'Europe », 5 octobre 2005.

Fisher William F. Clark University (Worcester, Massachusetts). "Grands barrages, flux mondiaux et petites gens". Critique internationale n°13-Octobre 2001.

Goldsmith E. and Hildyard N. "The social and environmental impacts of large dams". Cornwall, UK, Wadebridge Ecological Centre, 1984."

Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. « La consommation d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelable en France. Rapport sur les objectifs indicatifs nationaux à l'horizon 2010. 15 novembre 2002.

Nickum James E. and Changning Liu. "Damning dams. A review of long-distance water transfer- A chinese case study and international experiences." (The ecologist, vol 14, n°2.1984).

Observ'ER-EDF. « La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde ». Sixième inventaire, édition 2004.

Parlement français. Projet de loi d'orientation sur l'énergie. Juin 2005.

SAVOIE Philippe. « Impacts du barrage des trois Gorges sur le développement durable de la Chine ». Vertigo. La revue en sciences de l'environnement sur le web, vol 4, n°3, décembre 2003.

Vinod Raina. « Wy people oppose dams. Environment and culture in subsistence economies » (Nehru Memorial Museum and Library, New Delhi) Article, 4/10/2005.

## Table des matières

	Pages
<b>I) Introduction</b>	
<b>II) Des objectifs marqués par la diversité</b>	1
<b>A) Objectifs énergétiques</b>	2
1) L'hydraulique, au service d'une énergie décentralisée	2
2) Des installations moyennes aux infrastructures pharaoniques	4
<b>B) Objectifs collatéraux</b>	6
1) Des investissements au service de régimes politiques	6
2) Aménagement du territoire et lutte contre la pollution	6
<b>III) Des infrastructures aux multiples implications et répercussions</b>	8
<b>A) Des implications en amont des réalisations</b>	8
1) Des implications diplomatiques	8
2) Des investissements à forte intensité capitalistique	8
<b>B) Des répercussions en aval des réalisations</b>	9
1) Un coût du kWh très compétitif	9
2) Barrages et dégâts collatéraux	10
<b>IV) Eléments de synthèse</b>	12
<b>Bibliographie</b>	14

## LISTE DES CAHIERS DE RECHERCHE CREDEN\*

95.01.01	<i>Eastern Europe Energy and Environment : the Cost-Reward Structure as an Analytical Framework in Policy Analysis</i> Corazón M. SIDDAYAO
96.01.02	<i>Insécurité des Approvisionnements Pétroliers, Effet Externe et Stockage Stratégique : l'Aspect International</i> Bernard SANCHEZ
96.02.03	<i>R&amp;D et Innovations Technologiques au sein d'un Marché Monopolistique d'une Ressource Non Renouvelable</i> Jean-Christophe POUDOU
96.03.04	<i>Un Siècle d'Histoire Nucléaire de la France</i> Henri PIATIER
97.01.05	<i>Is the Netback Value of Gas Economically Efficient ?</i> Corazón M. SIDDAYAO
97.02.06	<i>Répartitions Modales Urbaines, Externalités et Instauration de Péages : le cas des Externalités de Congestion et des «Externalités Modales Croisées»</i> François MIRABEL
97.03.07	<i>Pricing Transmission in a Reformed Power Sector : Can U.S. Issues Be Generalized for Developing Countries</i> Corazón M. SIDDAYAO
97.04.08	<i>La Dérégulation de l'Industrie Electrique en Europe et aux Etats-Unis : un Processus de Décomposition-Recomposition</i> Jacques PERCEBOIS
97.05.09	<i>Externalité Informationnelle d'Exploration et Efficacité Informationnelle de l'Exploration Pétrolière</i> Evariste NYOUKI
97.06.10	<i>Concept et Mesure d'Equité Améliorée : Tentative d'Application à l'Option Tarifaire "Bleu-Blanc-Rouge" d'EDF</i> Jérôme BEZZINA
98.01.11	<i>Substitution entre Capital, Travail et Produits Energétiques : Tentative d'application dans un cadre international</i> Bachir EL MURR
98.02.12	<i>L'Interface entre Secteur Agricole et Secteur Pétrolier : Quelques Questions au Sujet des Biocarburants</i> Alain MATHIEU
98.03.13	<i>Les Effets de l'Intégration et de l'Unification Économique Européenne sur la Marge de Manœuvre de l'État Régulateur</i> Agnès d'ARTIGUES
99.09.14	<i>La Réglementation par Price Cap : le Cas du Transport de Gaz Naturel au Royaume Uni</i> Laurent DAVID
99.11.15	<i>L'Apport de la Théorie Économique aux Débats Énergétiques</i> Jacques PERCEBOIS
99.12.16	<i>Les biocombustibles : des énergies entre déclin et renouveau</i> Alain MATHIEU
00.05.17	<i>Structure du marché gazier américain, réglementation et tarification de l'accès des tiers au réseau</i> Laurent DAVID et François MIRABEL
00.09.18	<i>Corporate Realignment in the Natural Gas Industry : Does the North American Experience Foretell the Future for the European Union ?</i> Ian RUTLEDGE et Philip WRIGHT
00.10.19	<i>La décision d'investissement nucléaire : l'influence de la structure industrielle</i> Marie-Laure GUILLERMINET

\* L'année de parution est signalée par les deux premiers chiffres du numéro du cahier.

01.01.20	<i>The industrialization of knowledge in life sciences Convergence between public research policies and industrial strategies</i> Jean Pierre MIGNOT et Christian PONCET
01.02.21	<i>Les enjeux du transport pour le gaz et l'électricité : la fixation des charges d'accès</i> Jacques PERCEBOIS et Laurent DAVID
01.06.22	<i>Les comportements de fraude fiscale : le face-à-face contribuables – Administration fiscale</i> Cécile BAZART
01.06.23	<i>La complexité du processus institutionnel de décision fiscale : causes et conséquences</i> Cécile BAZART
01.09.24	<i>Droits de l'homme et justice sociale. Une mise en perspective des apports de John Rawls et d'Amartya Sen</i> David KOLACINSKI
01.10.25	<i>Compétition technologique, rendements croissants et lock-in dans la production d'électricité d'origine solaire photovoltaïque</i> Pierre TAILLANT
02.01.26	<i>Harmonisation fiscale et politiques monétaires au sein d'une intégration économique</i> Bachir EL MURR
02.06.27	<i>De la connaissance académique à l'innovation industrielle dans les sciences du vivant : essai d'une typologie organisationnelle dans le processus d'industrialisation des connaissances</i> Christian PONCET
02.06.28	<i>Efforts d'innovations technologiques dans l'oligopole minier</i> Jean-Christophe POUDOU
02.06.29	<i>Why are technological spillovers spatially bounded ? A market orientated approach</i> Edmond BARANES et Jean-Philippe TROPEANO
02.07.30	<i>Will broadband lead to a more competitive access market ?</i> Edmond BARANES et Yves GASSOT
02.07.31	<i>De l'échange entre salaire et liberté chez Adam Smith au « salaire équitable » d'Akerlof</i> David KOLACINSKI
02.07.32	<i>Intégration du marché Nord-Américain de l'énergie</i> Alain LAPOINTE
02.07.33	<i>Funding for Universal Service Obligations in Electricity Sector : the case of green power development</i> Pascal FAVARD, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
02.09.34	<i>Démocratie, croissance et répartition des libertés entre riches et pauvres</i> David KOLACINSKI
02.09.35	<i>La décision d'investissement et son financement dans un environnement institutionnel en mutation : le cas d'un équipement électronucléaire</i> Marie-Laure GUILLERMINET
02.09.36	<i>Third Party Access pricing to the network, secondary capacity market and economic optimum : the case of natural gas</i> Laurent DAVID et Jacques PERCEBOIS
03.10.37	<i>Competition And Mergers In Networks With Call Externalities</i> Edmond BARANES et Laurent FLOCHEL
03.10.38	<i>Mining and Incentive Concession Contracts</i> Nguyen Mahn HUNG, Jean-Christophe POUDOU et Lionel THOMAS
03.11.39	<i>Une analyse économique de la structure verticale sur la chaîne gazière européenne</i> Edmond BARANES, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
03.11.40	<i>Ouverture à la concurrence et régulation des industries de réseaux : le cas du gaz et de l'électricité. Quelques enseignements au vu de l'expérience européenne</i> Jacques PERCEBOIS
03.11.41	<i>Mechanisms of Funding for Universal Service Obligations: the Electricity Case</i> François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
03.11.42	<i>Stockage et Concurrence dans le secteur gazier</i> Edmond BARANES, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU

03.11.43	<i>Cross Hedging and Liquidity: A Note</i> Benoît SEVI
04.01.44	<i>The Competitive Firm under both Input and Output Price Uncertainties with Futures Markets and Basis risk</i> Benoît SEVI
04.05.45	<i>Competition in health care markets and vertical restraints</i> Edmond BARANES et David BARDEY
04.06.46	<i>La Mise en Place d'un Marché de Permis d'Emission dans des Situations de Concurrence Imparfaite</i> Olivier ROUSSE
04.07.47	<i>Funding Universal Service Obligations with an Essential Facility: Charges vs. Taxes and subsidies</i> , Charles MADET, Michel ROLAND, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
04.07.48	<i>Stockage de gaz et modulation : une analyse stratégique</i> , Edmond BARANES, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
04.08.49	<i>Horizontal Mergers In Internet</i> Edmond BARANES et Thomas CORTADE
04.10.50	<i>La promotion des énergies renouvelables : Prix garantis ou marché de certificats verts ?</i> Jacques PERCEBOIS
04.10.51	<i>Le Rôle des Permis d'Emission dans l'Exercice d'un Pouvoir de Marché sur les Marchés de Gros de l'Electricité (La Stratégie de Rétenion de Capacité</i> Olivier ROUSSE
04.11.52	<i>Consequences of electricity restructuring on the environment: A survey</i> Benoît SEVI
04.12.53	<i>On the Exact Minimum Variance Hedge of an Uncertain Quantity with Flexibility</i> Benoît SEVI
05.01.54	<i>Les biocarburants face aux objectifs et aux contraintes des politiques énergétiques et agricoles</i> Alain MATHIEU
05.01.55	<i>Structure de la concurrence sur la chaîne du gaz naturel : le marché européen</i> Vincent GIRAULT
05.04.56	<i>L'approvisionnement gazier sur un marche oligopolistique : une analyse par la théorie économique</i> Vincent GIRAULT
05.04.57	<i>Les péages urbains pour une meilleure organisation des déplacements</i> François MIRABEL
05.04.58	<i>Les biocombustibles en France : des produits fatals aux cultures dédiées</i> Alain MATHIEU
05.07.59	<i>Dérégulation et R&amp;D dans le secteur énergétique européen</i> Olivier GROSSE, Benoît SEVI
05.09.60	<i>Strategies of an incumbent constrained to supply entrants: the case of European gas release program</i> Cédric CLASTRES et Laurent DAVID
06.01.61	<i>Hydroélectricité : des mini-centrales aux barrages pharaoniques</i> Alain MATHIEU