

15. L'hydro-électricité

Cahier spécial
La Recherche
réalisé avec
le soutien
de la direction
scientifique de



TECHNOLOGIE

Une solution éprouvée
qui garde **un fort potentiel**

ÉCONOMIE

La plus rentable
des énergies renouvelables

SOCIÉTÉ

L'eau, **une ressource à préserver**, interviews de Ghislain de Marsily, membre de l'Académie des sciences, et d'Anne Prieur-Vernat, du Groupe GDF SUEZ.

Barrage à poids EDF et retenue de Vassivière (Haute-Vienne).

CHERCHEURS D'ÉNERGIES

Tous les deux mois, ce cahier *La Recherche* vous permet de comprendre les défis technologiques, économiques et environnementaux des énergies.

Une solution éprouvée qui garde un fort potentiel

Le secteur de l'hydroélectricité repose sur une technologie éprouvée mais encore porteuse d'innovation. Il apparaît comme une solution d'avenir pour répondre aux nouveaux besoins en énergie et aux problèmes d'intermittence des énergies renouvelables.

Eau et énergie sont indispensables l'une à l'autre. Pomper, traiter ou transporter de l'eau demande beaucoup d'énergie. À l'inverse, l'eau sert aussi pour la production d'énergie. Dans le cas de l'hydroélectricité, c'est une évidence. Dès le Moyen Âge, les hommes apprennent à exploiter la force motrice de l'eau pour faire tourner les roues de leurs moulins. La première véritable centrale hydroélectrique (12,5 kW) au monde est mise en service en 1882 dans le Wisconsin (États-Unis) pour éclairer une usine de papier et la résidence de son propriétaire.

Au cœur du système, une turbine qui entraîne un générateur

et produit ainsi de l'électricité. Aujourd'hui, l'énergie hydraulique, connue aussi sous le nom de «houille blanche», est la première des énergies renouvelables dans le monde. La production annuelle avoisine les 3 500 TWh, ce qui ne représente pas moins de 16% de la production globale d'électricité. Un chiffre qui pourrait encore augmenter dans les années à venir. En effet, le *Journal international de l'hydroélectricité et des barrages* (IJHD) estime à quelque 15 000 TWh/an la capacité de production techniquement envisageable (sur une capacité maximale théorique de 40 000 TWh/an), soit 75% de la consommation d'électricité mondiale (20 000 TWh en 2010).

À CHAQUE SITE SA CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

Centrales au fil de l'eau, usines-écluses ou de lac, centrales marémotrices ou Stations de transfert d'énergie par pompage (STEP). Le choix du type d'ouvrage hydroélectrique dépend de la configuration du site d'implantation, du cours d'eau, du relief et de l'usage qui doit en être fait. Les centrales au fil de l'eau, comme celles construites sur le Rhône et sur le Rhin, produisent au gré des débits du cours d'eau. Elles sont destinées à répondre aux besoins quotidiens en électricité. Les usines-écluses ou de lac, quant à elles, entrent dans la catégorie de l'hydraulique modulable.

Grâce à des barrages qui créent des retenues d'eau, elles permettent de produire de l'électricité à la demande. Dans ce cas, le choix du type de barrage (voûte, poids, contrefort, en enrochement ou en terre, etc.) dépend de la topologie du site et le choix du type de turbine dépend de la hauteur de chute et du débit d'eau. Les centrales marémotrices, comme celle de la Rance (Ille-et-Vilaine), exploitent les mouvements des marées. Les STEPs enfin, sont constituées de deux retenues d'eau situées à des hauteurs différentes et qui leur permettent de turbiner ou de pomper, selon qu'il faut produire ou stocker de l'électricité.

« Contrairement aux idées reçues, dans le secteur de l'hydroélectricité, il reste encore beaucoup à faire en termes d'innovation », affirme Maryse François, responsable de la R & D sur les hydrotechnologies chez Alstom Renewable Power. Pour preuve, le milliard d'euros d'investissement qu'EDF prévoit de réaliser sur le sujet entre 2008 et 2018.

Du côté du génie civil, l'innovation est aujourd'hui essentiellement incrémentale (amélioration de la qualité du béton, de l'étanchéité, etc.). « Peut-être pouvons-nous nous attendre à une rupture grâce aux travaux en cours sur des matériaux composites, moins chers, moins dépendants des conditions économiques et plus faciles à mettre en œuvre que les matériaux classiques », précise Jean-Charles Galland, de la direction Production et Ingénierie hydraulique d'EDF. Mais l'essentiel des études se concentre aujourd'hui sur trois grands thèmes : l'environnement, la sûreté et les outils de production.

Environnement et sûreté

Face aux défis du changement climatique, l'hydroélectricité offre des caractéristiques qui ont un impact direct sur la protection de l'environnement (1,5 à 2,1 milliards de tonnes de CO₂ non émises chaque année selon l'International Hydropower Association). En revanche, concernant la préservation de la faune, il reste encore des progrès à accomplir.

Les études se concentrent surtout sur des dispositifs permettant aux poissons de franchir les barrages sans avoir à passer par les turbines. « Aujourd'hui, de nombreux travaux sont menés par EDF concernant la dévalaison. Il n'est pas évident de détourner des poissons (grilles, débits d'attrait, etc.). Il nous faut au préalable étudier le comportement de chaque espèce », explique Jean-Charles Galland. Autre sujet d'intérêt plutôt récent en matière de préservation de l'environnement : le transport des sédiments. Car le flux de sédiments est impacté par la construction de retenues avec des

effets non négligeables sur le lit des rivières et la biodiversité. Alors, les opérateurs envisagent des aménagements permettant de restaurer le transport naturel des sédiments.

Du côté de la sûreté, les dispositifs mis en œuvre sont eux aussi de plus en plus perfectionnés. Des bassins de démodulation permettent ainsi de libérer, en prélude à une phase de production, une vague d'alerte. De quoi laisser le temps à d'éventuels utilisateurs du cours d'eau de rejoindre un lieu plus sûr. Sur la centrale de Romanche-Gavet (Isère), c'est un dissipateur d'énergie unique en France qui a été installé. Un système de vannes qui permet de réguler les variations de débit pour assurer une meilleure gestion du lit de la rivière. Et sur le site des Gloriettes (Pyrénées), un évacuateur de crues dernière génération, dit en touches de piano, a permis, en juin dernier, de limiter les conséquences d'une situation exceptionnelle.

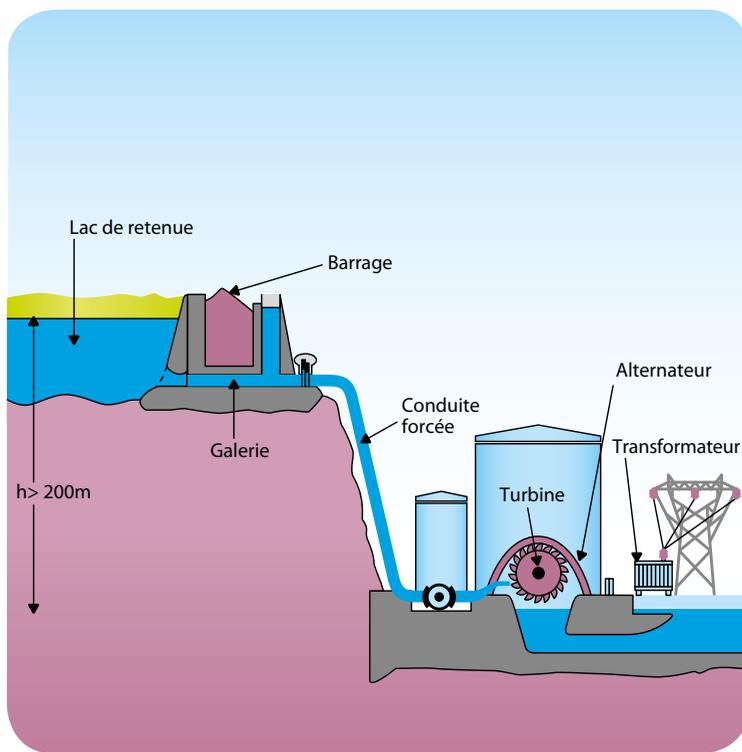
Souplesse et réactivité

Dernier thème abordé par les ingénieurs, celui de l'optimisation des outils de production. De nouveaux designs de turbine permettent ainsi d'opérer dans des zones inhabituelles pour répondre aux besoins de développement de certains pays. Le barrage chinois de Xiangjiaba, qui détient un record de puissance par unité (840 MW), en est un bel exemple. «*La hauteur de chute n'est pas exceptionnelle alors, il a fallu adapter la taille des machines*», précise Maryse François.

De manière plus générale, l'augmentation des performances et des puissances des installations hydroélectriques pousse à envisager sérieusement la réhabilitation d'ouvrages anciens. «*La capacité énergétique des centrales hydroélectriques existantes peut être augmentée de 5 à 10%. Un gain qui représente, pour la seule Europe, 30 TWh (production totale: 1 000 TWh)*», indique Maryse François.

Mais, «*la vraie valeur ajoutée de l'hydraulique, c'est qu'elle fournit des services de plus en plus indispensables au système électrique. Avec le développement des énergies renouvelables intermittentes (solaire et éolien), le réseau a besoin de la flexibilité qu'offrent les Stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)*», souligne Jean-Charles

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN OUVRAGE HYDROÉLECTRIQUE



Lorsque les vannes du barrage sont ouvertes, l'eau chute dans la conduite forcée. L'énergie potentielle stockée se transforme en énergie cinétique. Elle fait alors tourner une turbine qui entraîne un alternateur. L'énergie mécanique est ainsi transformée en courant électrique. Celui-ci est redressé par un transformateur puis transporté par des lignes à haute tension. L'eau, quant à elle, retourne à la rivière par un canal de fuite.

Galland. Des systèmes basés sur un principe simple et qui offrent des rendements globaux de 80%. Pendant les périodes de pic, l'eau circule de la retenue supérieure de l'ouvrage vers le bassin inférieur en générant de l'électricité. Alors qu'il faut plusieurs heures dans le cas d'une centrale thermique ou nucléaire, c'est ici en quelques secondes, deux minutes pour la STEP de Grand-Maison (Isère), que toute la puissance, 1 800 MW pour cet exemple (l'équivalent de deux réacteurs nucléaires), est libérée. Avec pour limite, tout de même, la capacité de la retenue (cycles journaliers ou hebdomadaires).

À l'inverse, en période creuse, le surplus d'électricité est utilisé pour pomper l'eau du bassin inférieur vers la retenue supérieure. De quoi ajuster instantanément l'offre d'électricité à la demande. «*Pour améliorer encore la flexibilité du système et ses rendements, nous travaillons sur des technologies dites à vitesse variable qui permettront d'adapter la puissance de pompage à celle disponible sur le réseau. L'idée est simple, il suffit de faire tourner la turbine plus lentement, mais elle nécessite la mise en œuvre d'un nouveau*

modèle de rotor», précise Maryse François. La mise en service d'une STEP à vitesse variable est prévue pour 2017 à Linthal (Suisse). Dans les années à venir, cette technologie pourrait représenter plus de 40% du marché des STEP dans le monde.

Énergies marines

Les STEP installées en façade maritime pourraient aussi apporter leur pierre à l'édifice. Dans ce cas-là, la mer joue le rôle de bassin inférieur, la retenue supérieure étant positionnée sur la côte, au sommet d'une falaise par exemple. Une seule STEP marine fonctionne actuellement dans le monde, à Okinawa, au Japon. Des projets menés par EDF sont en cours à la Réunion, en Guadeloupe ou encore en Martinique.

Selon l'Agence internationale de l'énergie, le potentiel des énergies marines exploitables chaque année serait de près de 30 000 TWh, l'usine marémotrice de la Rance (Ille-et-Vilaine), la première de ce type au monde, met ainsi à contribution, depuis 1966, les variations du niveau de la mer. Avec celle de Sihwa inaugurée en 2009 en Corée, elles font encore figure d'exception. Les industriels et les énergé- >>>

L'hydrolienne imaginée et construite par la société Openhydro/DCNS, ici en phase d'approche sur site, mesure 16 mètres de diamètre et est immergée à 30 mètres de profondeur. Elle constitue l'un des piliers du projet de parc démonstrateur développé par EDF au large de Paimpol-Bréhat (Bretagne) et dont la mise en service est prévue pour 2014. À terme, son objectif est d'alimenter quelque 3 000 foyers en électricité.



ticiens s'intéressent aussi >>> de près à la technologie des hydroliennes (voir cahier *Chercheurs d'énergies n°8, juillet/août 2012*). Placées dans l'axe des courants de marée, elles permettent de transformer l'énergie cinétique dégagée lors des phases ascendantes et descendantes en énergie électrique. La société britannique Aquamarine Power, de son côté, travaille depuis 2005 à la mise en œuvre d'un dispositif capable d'exploiter l'énergie des vagues. Installé à quelque 500 mètres seulement des côtes et

fixé par 13 mètres de profondeur, le système Oyster (26 mètres de large pour une capacité maximale de production de 800 kW) fonctionne grâce à un volet articulé placé face aux vagues. Il actionne des pistons qui poussent, via une canalisation, l'eau à haute pression vers une turbine conventionnelle placée à terre. Depuis juin 2012, Oyster II est testé dans les Orcades (Écosse). Sur 144 heures de fonctionnement, il a été capable de générer 10 MWh.

Le développement à échelle industrielle de ce type de techno-

logies devra prendre en compte les contraintes liées à la circulation maritime et aux conditions hostiles, parfois extrêmes, que l'on peut rencontrer en mer (problèmes d'ancrage, corrosion, etc.). Des programmes de R&D sont actuellement en cours dans la plupart des grands groupes. Et l'ambition affichée par la France n'est autre que de devenir un leader du marché des énergies marines renouvelables (énergies houlomotrice, des courants et des vagues, énergie thermique des mers ou du gradient de salinité, etc.). ◆

Sans eau, pas d'énergie

Tout au long de la chaîne de valeur de la production d'énergie, l'eau est omniprésente. De l'extraction des combustibles fossiles à la croissance de la biomasse, en passant par le refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires, ce sont des milliards de mètres cubes d'eau qui sont consommés ou du moins prélevés dans l'environnement. C'est, par exemple, le rendement des centrales qui détermine la quantité d'eau nécessaire à leur refroidissement. Plus celui-ci est important, moins la consommation d'eau sera élevée. La présence d'un système de captage de CO₂ à la sortie de l'installation a aussi un impact important. Elle augmente de 90% la consommation d'eau. Aux États-Unis, 40% des prélèvements d'eau douce servent à refroidir les centrales du pays, mais on estime que seulement 3% sont réellement consommés. Pour réduire l'impact de cette consommation d'eau et

assurer une certaine disponibilité de la ressource, les ingénieurs devront inventer de nouveaux concepts de refroidissement, faire appel à de nouvelles molécules vertes pour l'extraction et améliorer les techniques de traitement après usage. Les industriels devront penser à utiliser préférentiellement des sources d'eau dégradée pour alimenter leurs circuits. Selon le Conseil mondial de l'énergie, le poids du pétrole dans la consommation d'eau devrait augmenter de 10 à 18% d'ici à 2050. La production de chaque baril s'accompagne déjà de la production de 3 à 5 barils d'eau. Une eau souillée que les chercheurs de l'IFPEN tentent de préserver grâce à l'utilisation d'esters d'origine renouvelable et biodégradable issus du colza ou du tournesol en lieu et place des produits chimiques classiquement employés pour la séparation de l'huile.

La plus rentable des énergies renouvelables

L'hydroélectricité est la plus rentable des énergies renouvelables. Pourtant, malgré la multiplication des ouvrages d'envergure, seulement un tiers du potentiel économiquement exploitable dans le monde est effectivement exploité.

Construit en 1982 sur la rivière Parana, le barrage d'Itaipu peut produire jusqu'à 14 000 MW. Il fournit presque toute l'électricité du Paraguay et le quart de celle du Brésil. Le barrage des Trois-Gorges, mis en service en Chine en 2008 est le plus grand du monde. Conçu avec un budget de 20 milliards d'euros pour contrôler les flots de la rivière Yangtsé, il inclut une centrale hydroélectrique d'une capacité de 22 500 MW, soit l'équivalent de quelque 15 centrales nucléaires. Il est ainsi capable de fournir le neuvième des besoins en électricité du pays. Et ce ne sont là que quelques exemples des dizaines de projets qui se développent partout dans le monde. Car la ressource est abondante et le potentiel de croissance de la filière important. Les coûts d'installation d'ouvrages hydroélectriques ne sont en général pas si éloignés que ça de ceux des centrales nucléaires ou thermiques, et ceux de l'électricité produite, quant à eux, sont indépendants du cours des combustibles.

« Il faut malgré tout garder à l'esprit que les coûts du MWh hydroélectrique sont très variables. Contrairement à ce que l'on observe pour la plupart des autres outils de production, ils dépendent largement du génie civil et donc du site d'installation et du type d'ouvrage », précise Jean-Charles

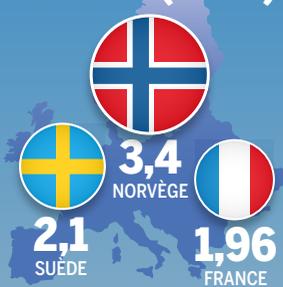
LES PRINCIPAUX PRODUCTEURS D'HYDROÉLECTRICITÉ

PART DANS LA PRODUCTION MONDIALE D'HYDROÉLECTRICITÉ, SOIT 3 250 TWh (CHIFFRES OBSERVÉS 2011)

MONDE (en %)



EUROPE (en %)



LE MARCHÉ DE L'HYDROÉLECTRICITÉ EN FRANCE

LA FILIÈRE INDUSTRIELLE FRANÇAISE DE L'HYDROÉLECTRICITÉ EST UNE FILIÈRE D'EXCELLENCE AU RAYONNEMENT MONDIAL (Source : ADEME 2010)

3,12 MDE
CHIFFRE D'AFFAIRES

10 500
NOMBRE D'EMPLOIS DIRECTS

Galland, de la direction Production et ingénierie hydraulique d'EDF. L'Agence internationale de l'énergie donne ainsi une fourchette comprise entre 15 et 177 €/MWh avec une moyenne de

« **Seulement un quart des barrages construits dans le monde sert à la production d'électricité.** »

quelque 32 €/MWh. Un chiffre très intéressant comparé à ceux du solaire photovoltaïque (autour de 141 €/MWh) ou de l'éolien (environ 59 €/MWh) et même à ceux nucléaire (autour de 75 €/MWh) ou du gaz (quelque 68 €/MWh). Alors, même si les impacts sur la population locale et sur les écosystèmes constituent une limite à l'explosion de la filière, la montée des problématiques d'émissions de gaz à effets de serre permet à l'hydroélectricité de s'afficher comme une énergie d'avenir. Notamment en Amérique latine et en Asie, deux continents qui, à eux seuls, devraient représenter, en 2035, 85 % des capacités additionnelles mondiales. L'Afrique, de son côté, dispose aussi d'un énorme potentiel avec 95 % de capacités non installées,

mais elle se heurte à des difficultés de mise en œuvre (instabilité politique, répartition des populations, financements, etc.). Un grand potentiel se cache aussi dans le développement de petites centrales hydroélectriques. « Dans les pays développés, des milliers de sites ne sont pas exploités faute de technologies qui permettent d'optimiser la globalité de l'investissement et d'atteindre un coût installé raisonnable », explique Marc Leclerc, président de MJ2 Technologies, un fabricant de turbines. En France, la petite hydroélectricité produit tout de même déjà 7,5 TWh/an, soit environ 10 % de la production hydroélectrique nationale. Outre la stricte production d'électricité, l'installation d'un barrage peut aussi être source de développement économique local. Le barrage de Serre-Ponçon, en Provence, par exemple, est ainsi devenu au fil des années, un pôle touristique majeur de la région. Il contribue aussi à une meilleure gestion des autres usages de l'eau et notamment à l'irrigation des alentours. « Chaque année, ce sont plusieurs centaines de millions de mètres cubes d'eau qui sont lâchés par EDF uniquement dans le but de servir les autres usages de l'eau (agriculture, tourisme, etc.) ou pour résoudre des difficultés environnementales (stress hydrique) », conclut Jean-Charles Galland. ♦

L'eau, une ressource à préserver

Les impacts de la production d'énergie sur la qualité des eaux sont nombreux. Et en la matière, le calcul de l'empreinte eau pourrait bientôt apporter des informations utiles à la préservation de la ressource.

Ghislain de Marsily

de l'Académie des sciences et du conseil scientifique de GDF SUEZ. Spécialisé en hydrologie, il a principalement étudié la disponibilité de la ressource en eau en France et à l'étranger, et sa contamination par les activités humaines. Il a publié en 2009 chez Dunod *L'eau, un trésor en partage*.



La notion d'empreinte eau permet d'évaluer l'impact d'une activité sur la ressource eau.

◆ D'une manière générale, quels sont les impacts des activités de production d'énergie sur la ressource eau ?

Ghislain de Marsily: La principale conséquence en la matière est l'élévation de la température des eaux. 70% de l'énergie primaire produite par une centrale thermique qui fait de l'électricité est rejetée dans les rivières ou dans l'atmosphère. Aujourd'hui, les centrales sont dimensionnées pour éviter les problèmes d'échauffement des eaux. Mais, pendant les périodes exceptionnelles de canicule, par exemple, la réduction des débits d'eau et l'augmentation de la température naturelle de l'eau peuvent faire que les rejets thermiques des centrales aient des effets néfastes sur la faune. En France, il existe une réglementation qui encadre strictement les élévations de températures, et seul le préfet peut autoriser un dépassement exceptionnel des limites de rejets. En 2003, cela a été le cas. Pourtant, aucun effet

thermique grave n'a été observé sur les écosystèmes.

Anne Prieur-Vernat: La notion d'empreinte eau permet d'évaluer l'impact d'une activité sur la ressource eau, en tenant compte de tout le cycle de vie, c'est-à-dire en incluant à la fois l'installation de production d'énergie et aussi toutes les opérations en amont, comme l'approvisionnement en combustible. Elle s'intéresse à la fois à la quantité d'eau utilisée, à la localisation de l'activité et à la qualité des eaux rejetées. Dans un endroit déjà naturellement pauvre en eau, les conséquences d'une production d'énergie, même si celle-ci est économe de ce point de vue, peuvent vite être dramatiques. On s'aperçoit aussi que l'empreinte eau varie fortement selon les technologies de refroidissement employées, par exemple.

◆ Y a-t-il d'autres phénomènes à surveiller ?

G. de M.: Il faut aussi prendre en compte les différents types de rejets. Au Canada et au Venezuela par exemple, on extrait des sables bitumeux en utilisant de grandes quantités d'eau. Il en va de même concernant l'exploitation du gaz de schiste, ou même de toute extraction conventionnelle de pétrole. En fin de

Des ouvrages sous haute surveillance

Le 9 octobre 1963, un glissement de terrain précipite 260 millions de m³ de terre et de roche dans le fond du lac de retenue du barrage de Vajont (Italie). L'ouvrage résiste, mais le déferlement de deux vagues de 25 millions de m³ d'eau fait alors près de 2000 morts. Les enquêteurs révéleront la présence sur le site d'une mince couche d'argile responsable de l'instabilité du sol. «*Malheureusement, les progrès sont souvent liés à des accidents*» constate Bernard Tardieu, de l'Académie des technologies. *Du point de vue de la sécurité, les études géologiques, de crues et de risque sismique sont les plus importantes. Elles mobilisent de nombreuses compétences (reconnaitances, sondages, géophysique, etc.) et nécessitent l'intervention d'experts. Les modèles mathématiques*

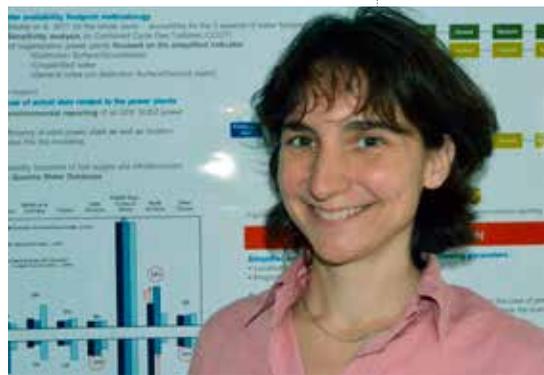
permettent ensuite de calculer les caractéristiques de résistance des barrages et de prendre les précautions qui s'imposent. » En France, le Comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques, créé à la suite de l'accident de Malpasset (PACA), est chargé du contrôle des nouveaux projets (hauteur supérieure à 20 mètres) ainsi que des modifications importantes sur les barrages existants. Au quotidien, des mesures sont réalisées sur l'ensemble du parc. Leur interprétation permet de s'assurer qu'il n'y a pas de déformations ou de mouvements irréversibles susceptibles de remettre en cause la sûreté des barrages. À l'échelle mondiale, la Commission internationale des grands barrages assure le partage des expériences acquises par la centaine de pays membres.

La plus grande passe à poissons d'Europe se situe sur le Rhin. Inaugurée par EDF en 2006, elle a permis le retour du saumon dans ce fleuve.

cycle, toutes ces eaux polluées par des hydrocarbures, des métaux lourds ou même des matériaux radioactifs naturels sont potentiellement rejetées dans les rivières. Si elles ne sont pas traitées au préalable, nous allons au-devant de graves problèmes environnementaux. Nous avons déjà vécu ce type de difficultés. Dans les années 1980, par exemple, les émissions de SO₂ dans l'atmosphère par les centrales thermiques brûlant des hydrocarbures provoquaient des pluies acides. Celles-ci ont eu des effets dévastateurs sur la faune des lacs canadiens, particulièrement sensibles à l'acidification, ou sur certaines forêts. Depuis, on extrait préalablement le soufre des hydrocarbures.

◆ **Qu'en est-il du cas particulier de la production hydroélectrique ?**

G. de M. : La question de la température se pose toujours mais de manière inversée, car on a tendance à relâcher dans les rivières en aval des eaux froides d'altitude qui peuvent perturber les écosystèmes. C'est en général l'hydrologie naturelle des riv-



Anne Prieur-Vernat

travaille au Centre de recherche et innovation sur le gaz et les énergies nouvelles du Groupe GDF SUEZ (Saint-Denis). Elle est spécialisée dans les analyses de cycle de vie et le calcul de l'empreinte eau des activités énergétiques.

vières qui est modifiée, le régime des crues et les étiages, les débits, etc. Ce type d'ouvrage affecte aussi le transit des sédiments. Et, pour élargir la question, il ne faut pas oublier non plus qu'il constitue un obstacle pour les poissons migrateurs (saumons, aloses, anguilles) notamment. Heureusement, on construit aujourd'hui, par exemple, des turbines hydrauliques dites « fish friendly » et des passes et des ascenseurs à poissons particulièrement efficaces.

A. P.-V. : Dans ce cas-là, le calcul de l'empreinte eau est loin d'être évident car il n'existe pas encore de consensus méthodologique. Si les spécialistes sont aujourd'hui à peu près tous d'accord sur le fait qu'il faut s'intéresser à l'eau consommée et non à l'eau prélevée, il reste encore des questions sur la façon dont l'évaporation de l'eau des retenues doit être prise en compte.

◆ **À l'inverse, y a-t-il un effet à craindre des changements climatiques sur la production d'énergie ?**

G. de M. : Aux États-Unis et en Eu-

5,4 m³/MWh

c'est la « consommation » en eau d'une centrale hydroélectrique.

9,54 m³/MWh

c'est la « consommation » en eau d'une centrale solaire thermique.

2,726 m³/MWh

c'est la « consommation » en eau d'une centrale nucléaire.

rope, respectivement 91% et 75% de la production d'électricité dépendent de centrales thermoélectriques, des centrales qui elles-mêmes ne pourraient pas fonctionner sans eau pour les refroidir. Une récente étude publiée par des chercheurs néerlandais montre la vulnérabilité de ce système face au changement climatique, à la baisse des débits estivaux et à la hausse généralisée des températures. Selon eux, les capacités de production européennes et américaines pourraient se voir réduites de 19 et 16% en été d'ici à 2030.

A. P.-V. : L'évaluation des besoins en eau de refroidissement est une étape clé lors des études de préféabilité pour le choix d'un nouveau site. Si la ressource en eau est limitée, le concepteur peut opter soit pour un circuit semi-fermé humide, avec transfert d'une partie de la chaleur à l'atmosphère au travers d'une tour de refroidissement, soit pour un système de refroidissement sec à l'air ambiant. Quoi qu'il en soit, l'impact potentiel sur la ressource en eau ne peut plus être négligé. Il doit être clairement identifié et évalué au stade des études préliminaires. Et dans le cas des centrales déjà en fonctionnement, il doit faire l'objet d'une étude approfondie qui permettra la mise en œuvre de plans d'action spécifiques (procédés moins consommateurs, modification du type d'eau utilisé, etc.). ◆

PROPOS RECUEILLIS PAR NATHALIE MAVER

◆ **DES POPULATIONS DÉPLACÉES**

Les impacts environnementaux ne sont pas les seuls à prendre en compte lors d'un projet de construction de barrage. Le coût humain se révèle aussi souvent élevé. Sur le site des Trois-Gorges (Chine) ce sont ainsi près de 1,5 million de personnes qui ont été déplacées. Et il n'est pas toujours simple d'assurer que ces délocalisations se font dans les meilleures conditions. «*Au Brésil, le plan de déplacement doit être approuvé par l'agence de l'environnement et son suivi est assuré par des observateurs externes*», précise Gil Maranhao, responsable du Développement durable à GDF SUEZ Energy Brasil. Au programme, réunions collectives et individuelles, indemnités financières et soutien à l'intégration sociale.

«*Lors de la construction de la centrale hydroélectrique de Jirau, nous avons travaillé à l'établissement d'une nouvelle ville (1 600 maisons) pour accueillir la population de Mutum Parana*», raconte Gil Maranhao. Une population dont le niveau de vie se situait largement au-dessous de la moyenne brésilienne. Cette nouvelle ville leur offre aujourd'hui un système de traitement des eaux usées, la collecte des déchets, des écoles, des hôpitaux, etc. «*Les choses ne se passent pas toujours aussi bien. 80% des fonds alloués à la délocalisation des Chinois vivants dans le secteur des Trois-Gorges ont été détournés*», assure Bernard Tardieu, de l'Académie des technologies.

Ce cahier spécial **La Recherche** a été réalisé avec le soutien de la direction scientifique de **TOTAL**

Comité éditorial : Jean-François Minster, Total - Olivier Appert, IFP Énergies nouvelles - François Moisan, ADEME - Bernard Salha, EDF - Bernard Tardieu, Académie des technologies - Marc Florette, GDF Suez.

Rédaction : Nathalie Mayer

Conception graphique et réalisation : A noir, **Crédits photographiques :** EDF-Didier Marc, EDF, Laurent Mignaux/METIL-MEDDE, DR

Retrouvez ce cahier spécial en français et en anglais sur le site

planete-energies.com
une initiative de **TOTAL**