

L'hydroélectricité, le mariage de l'eau et de l'énergie

Par Yves GIRAUD

Directeur de l'Hydraulique du groupe EDF

L'hydroélectricité est aujourd'hui à la confluence des grands enjeux de l'eau, de l'énergie, de l'environnement et du climat – autant de défis auxquels elle peut répondre positivement, grâce aux nouvelles techniques dont nous disposons aujourd'hui. Si ces différents enjeux sont mal gérés dans le cadre de politiques disjointes, ils peuvent se révéler vite contradictoires entre eux (par exemple, la volonté de développer une énergie renouvelable pour lutter contre le réchauffement climatique et celle de la préservation des espaces naturels et du bon état écologique des cours d'eau). Au contraire, s'ils sont bien gérés et correctement coordonnés par les États et les exploitants, l'hydraulique sera alors appelée à jouer un rôle de premier plan dans le monde, en tant qu'énergie renouvelable apportant sa flexibilité et sa capacité de stocker à la fois de l'eau et de l'énergie.

Une source d'énergie ancienne qui a su évoluer... au fil de l'eau !

L'utilisation de l'énergie hydraulique est bien antérieure à l'hydroélectricité, apparue à la fin du XIX^e siècle. Avant même la construction de barrages hydroélectriques et la production d'électricité, la force motrice de l'eau a été utilisée dès l'Antiquité. Les premiers moulins à eau apparaissent au premier siècle avant notre ère (quelque part entre la Grèce et l'Asie Mineure), avant de gagner les empires romain et chinois – d'abord pour moudre le grain, puis pour scier la pierre ou activer soufflets et marteaux de forge.

Très tôt dans l'histoire, l'eau est ainsi mariée à l'énergie dans des ouvrages ingénieux qui dérivent l'eau, la canalisent et la restituent au milieu naturel (ou l'utilisent ensuite pour l'approvisionnement d'une cité ou l'irrigation de terres cultivées). L'eau est ainsi doublement source de vie : amenée par des aqueducs dans la Rome antique, elle sert à la fois d'eau potable, d'eau de lavage, d'eau d'irrigation et d'énergie, puisqu'elle permet de broyer le grain et de fabriquer le pain distribué au peuple dans des installations sous contrôle de l'administration romaine... Dans une version plus capitaliste, les moulins de la chaussée du Bazacle, qui avaient été installés au Moyen Âge sur un gué naturel de la Garonne, ont non seulement permis d'alimenter en farine la ville de Toulouse, mais aussi de fournir l'énergie mécanique nécessaire à ses tanneurs et à ses papetiers. Ces moulins constituaient – au XIV^e siècle – la première société par actions du monde, avant de devenir, en 1888, un site historique de production d'électricité valorisé aujourd'hui comme espace culturel EDF-Bazacle, au cœur de la Ville Rose.



Photo © EDF - Jean-Luc Petit

L'espace culturel EDF-Bazacle à Toulouse.

À partir du XIX^e siècle, l'énergie hydraulique participe activement à la révolution industrielle tant en Europe qu'aux États-Unis. Benoît Fourneyron, ingénieur civil sorti de l'École des Mines de Saint-Étienne, invente la première « turbine hydraulique », dont le rendement pouvait dépasser les 80 %. Il a été suivi par d'autres ingénieurs, entrepreneurs, visionnaires et pionniers, comme les Américains James B. Francis et Lester Allan Pelton, l'Autrichien Viktor Kaplan, ou encore le Français Aristide Bergès, un Centralien, à qui nous devrions l'expression « houille blanche » (qui désigne l'électricité hydraulique).

Après cette ère des pionniers, l'hydroélectricité se développe, dans le courant des années 1930, en tant que l'une des principales sources d'électricité, attirant des industries au pied des montagnes. Des usines dites « à



Photo © EDF - Dominique Guillaudin

Le barrage de Roselend situé sur le territoire de la commune de Beaufort-sur-Doron (Savoie).

toits mêlés » naissent alors dans les vallées des Pyrénées et des Alpes : la production d'énergie et la fabrication de l'aluminium sont réalisées dans un même bâtiment ! Les décennies 1950 à 1980 voient l'avènement de grands ouvrages hydroélectriques, comme les barrages de Tignes ou de Roselend dans les Alpes, qui, construits et exploités par EDF, sont de véritables prouesses de génie civil, avec parfois des aménagements complexes, où l'eau est acheminée d'une vallée dans une autre *via* des galeries souterraines.

La première des énergies renouvelables

Aujourd'hui, l'hydroélectricité bénéficie d'un engouement nouveau en tant qu'énergie renouvelable, en France et dans le monde. Elle constitue en effet la première énergie renouvelable par son antériorité, mais aussi par le rang qu'elle occupe dans la production d'électricité et son développement mondial, qui présente encore d'immenses potentiels de croissance, depuis l'Amérique Latine jusqu'à l'Asie, en passant par l'Afrique.

La production d'électricité renouvelable représentait en 2016 près du quart de l'électricité produite dans le monde et l'hydraulique comptait pour 70 %, suivi par l'éolien et le photovoltaïque. C'est plus généralement la 3^{ème} source de production d'électricité au monde, après le charbon et le gaz – loin devant le nucléaire. Son poids économique est également majeur : pour la seule Europe, il représente, selon l'IHA (*International Hydro-power Association*), la

création d'une valeur de 38 milliards d'euros par an et génère 15 milliards d'euros de recettes fiscales annuelles. L'industrie européenne compte des fleurons comme GE-Alstom (avec son site historique de Grenoble), l'autrichien Andritz ou encore l'allemand Voith, et une myriade de PME innovantes (notamment en France).

Ses très faibles émissions de gaz à effet de serre en font bien sûr l'énergie verte par excellence (28 g d'équivalent CO₂/kilowattheure - contre 490 à 820 g pour la production d'électricité au gaz et au charbon, selon le GIEC). Même en France, où l'essentiel du potentiel est exploité, la récente loi de « Transition énergétique pour une croissance verte » favorise le développement de petites usines hydrauliques. Pour ces dernières, l'État français a lancé un appel d'offres en décembre 2016, qui devrait être suivi par un nouvel appel d'offres au printemps 2017.

Une énergie flexible et stockable au cœur des transitions énergétiques

L'hydraulique est « doublement renouvelable » en ceci que sa flexibilité permet d'intégrer au réseau électrique davantage d'éolien et de photovoltaïque, dont la production varie en fonction du soleil ou du vent. Sa grande flexibilité nous donne en effet la capacité de nous adapter aux variations de l'équilibre offre/demande d'électricité. Selon les ouvrages, l'hydroélectricité peut assurer depuis des modulations intra-journalières de leur production (grâce au stockage de quantités d'eau limitées, pour les centrales hydroélectriques dites « éclusées ») jusqu'à des

modulations saisonnières (dans le cas des grands lacs de barrage). L'hydraulique constitue aujourd'hui la seule technique économiquement rentable permettant de stocker de l'électricité en quantités importantes et à différents horizons temporels au travers du stockage d'eau dans des retenues. Les apports naturels d'eau (pluies, fonte des neiges) sont retenus dans les lacs de barrage pour être ensuite turbinés, plusieurs semaines ou plusieurs mois plus tard, en fonction des besoins et du marché de l'électricité.

Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) en constituent la forme la plus aboutie. Développées à partir des années 1970-80 dans le monde entier, elles consistent à pomper de l'eau (le réseau électrique étant en période creuse) pour la remonter dans un réservoir supérieur, et à la turbiner ensuite en période de pointe, quand les prix sont plus élevés (selon le *spread* « *peak-off peak* », c'est-à-dire l'écart entre le prix de l'électricité en heures creuses et le prix de celle-ci durant les heures de pointe). La plus grande STEP française est celle de Grand-Maison, dans les Alpes. Avec une hauteur de chute de près de 1 000 mètres, elle permet de délivrer instantanément une puissance de 1,8 gigawatt, soit l'équivalent de deux réacteurs nucléaires. Ces ouvrages jouent un rôle essentiel pour la sécurité du réseau électrique, comme on a pu le vérifier lors de la grande panne du réseau européen du 4 novembre 2006.

L'eau : une ressource partagée – une énergie des territoires

Dès leur conception, les grands aménagements hydrauliques ont souvent été pensés comme des ouvrages à buts multiples s'inscrivant au cœur des enjeux de l'eau, de l'énergie et des territoires :

- **L'aménagement des grands fleuves**, comme le Rhin, le Danube ou le Mississippi, a été réalisé d'abord pour les dompter et réguler leurs crues souvent dévastatrices en les « canalisant », ensuite pour en assurer la navigabilité et, enfin, pour en tirer de l'énergie. Sur le Rhin, EDF assure ainsi une importante production d'électricité (10 milliards de kWh par an) et la navigation de plus de 20 000 péniches par an, *via* les écluses. Ces péniches (allemandes et suisses pour 90 % d'entre elles) représentent l'équivalent de 2 millions de camions par an. Avec les économies d'émission de CO₂ ainsi réalisées, l'aménagement du Rhin constitue donc un poumon à la fois économique et écologique. Les incidences sont importantes en termes d'exploitation : il faut ainsi être à même de garantir un strict respect de cotes très précises pour pouvoir emprunter les canaux et accéder au port de Bâle, qui est le premier port d'approvisionnement pour l'industrie suisse.
- **Les grands réservoirs de montagne** ont souvent été eux-mêmes conçus à des fins multiples : produire de l'électricité, mais aussi stocker de l'eau et assurer des soutiens d'étiage en périodes sèches. Ainsi en va-t-il des lacs de Serre-Ponçon et de Sainte-Croix-du-Verdon. Ces deux réservoirs et l'ensemble de la chaîne Durance-Verdon représentent, là encore, avec une disponi-

bilité quasi immédiate, la puissance de deux réacteurs nucléaires. Mais ce sont par ailleurs les deux premières retenues artificielles d'eau douce de France, ces deux lacs de barrage alimentant en eau potable trois millions d'habitants, dont ceux des agglomérations de Marseille, d'Aix-en-Provence et de Toulon. Ils sont de plus à l'origine d'une agriculture florissante en Provence. Ils accueillent également quatre millions de touristes par an, auxquels il faut assurer, en été, une cote élevée (pour les lacs) et un débit d'eau suffisant du Verdon (pour les kayakistes). La gestion de l'eau est donc, on le voit, indissociable du métier de producteur d'électricité. Avec 75 % des réserves d'eaux de surface, EDF est le premier gestionnaire de la ressource en eau en France.



Photo © EDF / Franck Oddoux

Le barrage de Sainte-Croix (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur).

L'eau, une ressource précieuse et vulnérable

Acteurs de l'eau, les hydrauliciens sont donc au cœur non seulement des enjeux énergétiques, mais aussi des enjeux environnementaux et climatiques : changement climatique, stress hydrique, biodiversité, modification des usages..., autant de questions que doivent se poser les exploitants d'hydroélectricité partout dans le monde, en partenariat avec les scientifiques et tous les acteurs de l'environnement.

La continuité écologique et piscicole, en particulier, est un des premiers enjeux à avoir été progressivement relevé par les hydrauliciens. Les passes à poissons datent de la fin du XIX^e siècle, mais c'est à partir des années 1980 qu'elles deviennent véritablement efficaces, permettant la reproduction des grands migrateurs comme le saumon. La Directive européenne « Cadre sur l'Eau », en 2000, et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006, en France, fixent, dans ce domaine, des objectifs ambitieux. La loi française sur l'eau de 2006, en particulier, impose de relever le débit dit réservé devant être maintenu dans le cours naturel des rivières exploitées (ce qui réduit, du même coup, la production d'électricité...). S'agissant des passes et ascenseurs à poissons, EDF dispose de plus d'une centaine d'ouvrages de ce type en France (avec, pour certains d'entre eux, un équipement permettant un comptage électronique des poissons migrateurs). Ces ouvrages sont plus sophistiqués qu'il n'y paraît, relevant d'une haute expertise technique et environnementale : il



Photo © EDF - Dominique Guillaudin

Passe à poissons aménagée en bordure d'un barrage.

s'agit de reconstituer de véritables rivières artificielles, en veillant à assurer des débits dits « d'attrait » pour inciter les poissons à y pénétrer. Ce sont des investissements lourds pour l'exploitant, qui s'inscrivent dans un cadre juridique de concessions ouvertes à la concurrence à leur échéance, et où le propriétaire de ces ouvrages reste l'État.

La biodiversité est, plus largement, un nouveau défi qui est encadré en France par la récente loi éponyme. Ainsi, EDF a, par exemple, participé à la « renaturation » du vieux Rhin, en 2015. Dans ce que l'on appelle la « petite Camargue alsacienne », une réserve naturelle riche d'îles et de berges, les espèces animales et végétales retrouvent vie : ainsi, le crapaud sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) et le martin-pêcheur d'Europe (*Alcedo atthis*) sont de retour. Ailleurs, la préservation du castor d'Europe (*Castor fiber*), de l'anguille, des écrevisses à pattes blanches, du desman des Pyrénées (ou rat trompette) ou de l'apron du Rhône (un poisson très vulnérable à tout changement dans son environnement) constituent de véritables enjeux pour tout hydraulicien socialement responsable.

Ces enjeux environnementaux et sociétaux (E&S) sont aussi très importants pour le développement de l'hydraulique dans le monde. Ils doivent être pris en compte très en amont de la phase de conception et ils figurent au premier rang des préoccupations non seulement des pays concernés, mais aussi de certains bailleurs de fonds

(comme la Banque mondiale). Pour les hydrauliciens, les déplacements de populations ou d'activités existantes (chasse et pêche) et l'impact de nouveaux ouvrages sur la qualité de l'eau, la faune et la flore deviennent des domaines d'expertise au même titre que leur compétence technique et industrielle et ils constituent des facteurs de différenciation pour les développeurs. Ainsi, au Brésil, la préservation de la forêt amazonienne est un redoutable enjeu : la surface des retenues ne doit pas être disproportionnée par rapport à la production d'énergie escomptée et il est impératif de couper la juste quantité d'arbres pour assurer la qualité de l'eau et leur valorisation.

EDF est ainsi particulièrement fier de la référence que constitue pour l'entreprise le barrage de Nam Theun, au Laos, d'une puissance de 1 000 mégawatts, qui vend l'essentiel de son électricité à la Thaïlande et qui a été financé par des fonds provenant de 27 partenaires, parmi lesquels la Banque mondiale et la Banque asiatique de développement. Une partie des recettes a été affectée au développement économique du pays et à la lutte contre la pauvreté. Parmi les avantages directs dont bénéficient les populations touchées par ce projet figurent une nette amélioration des conditions de vie des 6 000 villageois qui ont dû être réinstallés, des programmes de développement destinés à 200 villages situés en aval des installations, l'amélioration du réseau routier, l'accroissement des possibilités d'emploi et la protection d'une vaste zone de biodiversité.

L'hydroélectricité : une eau et une énergie durables pour les territoires !

En conclusion, l'hydroélectricité est aujourd'hui à la confluence des grands enjeux de l'eau, de l'énergie, de l'environnement et du climat et elle dispose de nouveaux outils et de nouvelles techniques devant lui permettre d'y répondre positivement. Mal gérés dans le cadre de politiques disjointes, ces enjeux risqueraient de s'avérer rapidement contradictoires (entre, par exemple, la nécessité de développer une énergie renouvelable pour lutter contre le changement climatique et celle de la préservation des espaces naturels et du bon état écologique des cours d'eau). Au contraire, si ces enjeux sont bien gérés et correctement coordonnés par les États et les exploitants, l'hydraulique sera alors appelée à jouer un rôle de premier plan en tant qu'énergie renouvelable apportant sa flexibilité et sa capacité de stockage de l'eau. À l'échelle planétaire, comme au cœur des vallées les plus reculées de nos vieux pays, elle apporte la vie, avec l'eau et l'énergie, et elle permet une reconquête tant de l'activité économique que de la biodiversité. L'hydraulique du futur, qui doit commencer par la valorisation de son patrimoine exceptionnel, retrouve ainsi ses origines très anciennes, au cœur du développement des premières civilisations, afin d'assurer une énergie et une gestion de l'eau qui soient durables !

EDF, premier producteur d'électricité renouvelable en Europe

EDF est le premier producteur d'énergie renouvelable en Europe, notamment grâce à l'hydroélectricité. En dehors de l'Europe, l'hydraulique est aussi un axe majeur du développement international d'EDF, avec des chantiers (en cours ou projetés) en Amérique Latine, en Afrique et en Asie.

Dans l'Hexagone, EDF produit environ 10 % de l'électricité grâce à l'énergie hydraulique, la première des énergies renouvelables.

Le parc hydraulique d'EDF compte 433 centrales et 622 barrages en France, pour une capacité installée de 20 gigawatts.

Par la force de l'eau, l'énergie hydraulique produit une électricité durable, souple et compétitive, et elle n'émet quasiment pas de CO₂.

En 2016, 42,4 térawattheures (TWh) d'électricité ont été produits en France grâce au parc hydroélectrique d'EDF. Mobilisable en quelques minutes seulement et à tout moment, ce parc permet de répondre aux brusques fluctuations dans la demande d'électricité.

Au-delà de son rôle d'électricien, EDF gère 75 % des eaux artificielles de surface de la France métropolitaine et joue un rôle central dans la gestion partagée de l'eau entre tous les secteurs consommateurs : l'électricité, l'eau potable, l'agriculture, l'industrie, le tourisme...



Photo © EDF - Philippe Eramian

Le barrage de Nam Theu (un affluent du Mékong) au Laos.