

Il y a de l'électricité dans l'eau !

Louis Goffin, Université de Liège – Février 2015

Comment générer de l'électricité à partir d'un écoulement d'eau ? Quels sont les techniques existantes et les grands principes ? Tour d'horizon d'une source d'énergie ancestrale : l'énergie hydraulique.

A l'heure où on recherche des alternatives aux sources de production électrique actuelles, il est bon de se pencher sur ce que nos ancêtres utilisent depuis plus de 1800 ans pour les aider dans leurs tâches quotidiennes : la force de l'eau. Alors que les problématiques environnementales n'étaient pas encore au goût du jour, l'homme utilisait déjà une source d'énergie qui n'émet aucun rejet gazeux dans l'atmosphère et, qui plus est, renouvelable. Pour mieux dompter cette énergie, demandons-nous d'abord d'où elle provient.



Chute d'eau sur une rivière (source : <https://www.flickr.com/photos/13907834@N00/8719485652/>)

Il était une fois une goutte d'eau dans un océan. Sous l'effet des rayons brûlants du soleil, cette goutte s'évapore dans l'atmosphère sous forme de vapeur pour ensuite former des nuages. Grâce au vent, notre goutte d'eau se déplace de plusieurs centaines de kilomètres. Avec un peu de chance le nuage dans lequel elle se trouve va précipiter au dessus d'un relief. Notre goutte tombe alors sur Terre. Tandis que plusieurs de ses voisines s'infiltrent dans le sol, elle ruisselle et se dirige vers un ruisseau. Une fois dans un cours d'eau elle va perdre de l'énergie au fur et à mesure des interactions avec les autres particules d'eau (un phénomène que l'on appelle la turbulence) et des rencontres avec le relief du lit de la rivière (le frottement). Elle finira par se retrouver dans un océan pour recommencer son cycle. En somme, le mouvement de la goutte n'est dû qu'à un seul responsable : le soleil. C'est lui qui permet à la goutte de s'évaporer mais c'est également lui, avec la rotation terrestre, qui génère le vent qui la transporte vers les reliefs.

Contrecarrer les plans de la nature

Et si nous empêchions à notre goutte d'eau de perdre inutilement de l'énergie, par exemple en percutant les irrégularités du lit de la rivière ? Et si nous arrivions à exploiter cette énergie perdue ? Et bien nous pourrions nous en servir pour nous aider dans nos tâches quotidiennes ! Les Chinois, Indiens et Romains d'il y a presque deux millénaires avaient déjà compris comment contrecarrer les plans de la nature. Leur idée consistait à utiliser le désormais bien connu moulin à eau. Le principe était de concentrer la chute d'eau localement. Pour ce faire, ils aménageaient un canal très lisse à faible pente pour dévier une partie de l'eau d'une rivière. Une fois que la différence de hauteur entre la rivière naturelle et



Moulin à eau (source : <http://www.flickr.com/photos/11569642@N00/6322569145>)

le canal artificiel était suffisante, ils faisaient s'écouler l'eau sur une roue à aubes. La roue tournait et était alors capable d'entraîner une meule, d'actionner une scie pour couper du bois ou de la pierre ou bien de mouvoir un soufflet pour attiser le feu d'une forge. En d'autres termes, ils produisaient de l'énergie.

A-t-on réinventé la roue ?

Si à l'heure actuelle de nombreux moulins existent toujours, il n'y en a que peu qui effectuent encore leurs tâches originelles. Bon nombre sont devenus des curiosités pour touristes. Et pourtant, les principes physiques d'il y a deux millénaires sont toujours utilisés à l'heure actuelle dans les centrales hydrauliques modernes. L'énergie produite n'a plus pour objectif direct de couper du bois ou de moudre du grain mais bien de produire de l'électricité. En effet, grâce aux nombreuses découvertes du XIXe siècle (la dynamo de Zénobe Gramme en 1868, l'ampoule de Thomas Edison en 1878, etc.) l'électricité s'impose comme une source d'énergie incontournable.

Si à l'heure actuelle de nombreux moulins existent toujours, il n'y en a que peu qui effectuent encore leurs tâches originelles.

La première centrale hydroélectrique a d'ailleurs été construite durant la même année que celle de l'invention de l'ampoule de Thomas Edison. Cette première centrale fut construite à Saint-Moritz en Suisse et disposait d'une puissance de 7kW, soit l'équivalent de la puissance utilisée par sept aspirateurs qui fonctionnent en même temps. Le principe des centrales hydrauliques est simple : on utilise toujours une chute naturelle ou créée artificiellement et



Turbine Francis (source : United States Department of the Interior)



Roue d'une turbine Pelton (source : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pelton_400kW_roue_1.JPG)

l'eau s'écoule encore sur une roue et la fait tourner. Ce qui change par rapport à la roue à aubes originelle, c'est que l'axe de la roue entraîne maintenant une génératrice qui va produire de l'électricité.

Au delà des roues à aubes, de nouvelles techniques sont inventées pour créer un mouvement de rotation à partir d'un écoulement d'eau. Ces roues d'un nouveau genre ont pour principale différence avec leur ancêtre d'être totalement immergées dans l'eau.

Parmi celles-ci, les plus connues sont la turbine Francis, la turbine Pelton et la turbine Kaplan, toutes trois inventées il y a plus d'un siècle. La première, qui utilise la pression au sein du fluide pour tourner, est adaptée pour les chutes moyennes (20 à 350 mètres). La seconde, utilisant la haute vitesse des jets d'eau qui impactent des récipients profilés attachés à une roue, est surtout intéressante pour les très grandes chutes d'eau (jusqu'à 1300 m). La dernière, constituée d'une hélice de très grande dimension, est spécialement taillée pour les faibles chutes mais les grands débits.



Turbine Kaplan (source : http://www.ethistory.ethz.ch/besichtigungen/touren/konjunkturkurven/index_EN/)

Les deux ingrédients de la recette hydroélectricité

Seulement deux ingrédients sont nécessaires pour produire de l'énergie hydraulique : une chute et un débit. La chute, qu'on appelle aussi charge, est la différence de hauteur entre le point haut et le point bas d'une installation hydraulique. Le deuxième ingrédient, le débit, est le volume d'eau qui passe chaque seconde dans l'installation. La combinaison de ces deux composantes permet de déterminer la puissance produite. Plus la chute et le débit sont importants, plus la centrale hydraulique sera puissante. Reste à déterminer maintenant comment obtenir simultanément ces deux éléments.

Et pourquoi ne pas utiliser le débit de nos rivières et fleuves ? C'est un bon début, on a le débit. Mais il faut encore la chute... Si on cherche une chute naturelle, présente localement, peu de sites existent. Il faut alors la créer. On peut disposer une structure imperméable (en



Chute d'eau naturelle (source : <https://www.flickr.com/photos/40855483@N00/217826708/>)

en béton, en terre ou en enrochement) en travers d'un cours d'eau. Ainsi, le niveau d'eau monte en amont. On crée donc une chute artificielle entre l'amont et l'aval. Mais on pourrait encore augmenter cette chute. Par exemple, on peut construire une telle structure de hauteur modeste, 2-3 mètres, mais comprenant une conduite menant vers un endroit situé plusieurs kilomètres en aval sur cette même rivière. Le point de rejet

étant en aval, il est localisé plus bas que l'altitude de la prise d'eau. On a donc augmenté la

chute. Il ne reste plus qu'à faire passer l'eau sur une turbine pour obtenir de l'électricité. Pour ce faire, il faut pouvoir creuser un tunnel, ou installer des conduites en surface. Le chemin emprunté étant plus lisse, moins d'énergie est perdue par le fluide. On peut ainsi en récupérer en aval des conduites. Ce type d'installation est appelé « au fil de l'eau ». Les installations pouvant être installées en sous-sol (centrale et conduites) disposent de l'avantage d'être très discrètes dans le paysage.

Si on veut produire une puissance constante, il faut maintenir chute et débit constants, ce qui n'est pas chose aisée puisqu'on travaille avec des éléments de la nature. En effet, les débits dans les rivières varient en fonction des précipitations au cours des saisons. Si on met en place un système de vannes sur le barrage, on peut réguler la hauteur d'eau en amont. Par contre le débit ne peut être gardé constant. On ne peut pas réguler le débit puisqu'on ne dispose d'aucune réserve. Le gestionnaire de la centrale est tributaire de la nature.



Un barrage en béton (source : <https://www.flickr.com/photos/44124370018@N01/6033352501/>)

Les centrales au fil de l'eau ont un désavantage majeur : nous ne maîtrisons pas la puissance produite au cours des saisons. Les grands barrages permettent de maîtriser la production électrique. Il s'agit de structures qui barrent l'écoulement d'une rivière. Elles peuvent mesurer de quelques dizaines de mètres à 300 mètres de haut. Le plus haut barrage se situe au Tadjikistan et mesure 304 m de haut, soit l'équivalent d'un immeuble de cents étages ! Ces

grands barrages sont soit construits en béton, soit en terre et en enrochement. Construits en travers du cours naturel d'une rivière, leurs réservoirs peuvent être utilisés comme régulateurs de débit. En période humide, lorsque l'alimentation du lac créé par le barrage est supérieur à ce qui peut être turbiné, on peut augmenter le niveau d'eau du réservoir et ainsi créer une réserve d'eau. Lorsque la saison devient sèche, les apports en eau dans le réservoir ne suffisent pas à eux seuls pour maintenir le niveau de production électrique optimal. On vide alors le réservoir pour compenser l'insuffisance des apports naturels.

Grâce à un grand barrage, on peut donc à la fois créer une différence de hauteur d'eau localement et un réservoir pour jouer un rôle de tampon par rapport aux apports naturels de la rivière. Le barrage offre donc une chute assez stable et un débit constant.

Outre leur utilité énergétique, les barrages servent aussi (et souvent en premier lieu) de réserve d'eau potable, de bassin tampon pour éviter les inondations, etc.

Une énergie verte, renouvelable et sans désavantage?



Echelle à poisson pour le franchissement d'un barrage (source : U.S. Army Corps of Engineers)

Le tableau dépeint jusqu'à présent est plutôt flatteur : renouvelable, sans émission de CO₂, et une exploitation économique. Pour être complets, parlons aussi des désavantages de l'hydroélectricité. Commençons par les désagréments induits par le fait de barrer le cours naturel d'une rivière. Les poissons montent et descendent les rivières pour, notamment, se reproduire. Si nous barrons leur route en construisant des barrages, la faune piscicole disparaît alors des rivières. Pour éviter que cela ne se produise,

des moyens de remédiation existent. Des systèmes tels que des échelles ou des ascenseurs à poissons peuvent être installés aux abords d'un ouvrage barrant le cours d'une rivière. Il reste toutefois le problème des turbines, mortelles pour les poissons qui les traversent. Il existe cependant des solutions moins dangereuses pour les espèces qui passent au travers des machines telles que vis d'Archimède, turbine à tourbillon, etc.

Une autre problématique liée à la construction d'ouvrages en travers des cours d'eau est l'accumulation des sédiments dans les réservoirs. Les sédiments sont ces particules de sable et de roche arrachées par l'eau au cours de son écoulement. Une fois ces particules arrivées dans un réservoir, elles se déposent dans le fond. Au fur et à mesure, la réserve d'eau dans un lac peut diminuer à cause de ce problème. Pour enrayer le phénomène, des solutions existent. Il s'agit notamment de chasses de fond. Celles-ci consistent à ouvrir une grande vanne située en base du barrage. De la sorte, les sédiments se remettent en mouvement et quittent le réservoir.

Construire une retenue d'eau n'est pas sans danger pour les populations qui habitent en aval. En effet, en cas d'effondrement du barrage, l'eau stockée dans le réservoir s'écoule instantanément dans la vallée. Les dégâts, tant matériels qu'humains, peuvent être considérables. Malpasset (France, 1959, 423 victimes), South Fork (USA, 1889, 2200 victimes) et Vajont (Italie, 1963, 1900 victimes) sont de tristes exemples. Ces catastrophes peuvent avoir diverses causes. Il peut s'agir de problèmes de glissement de



Ruines du barrage de Malpasset (source : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barrage_de_Malpasset_2014.JPG)

terrain, de stabilité des fondations, de séisme, de crues exceptionnelles ou bien d'érosion interne de la structure (pour les barrages en terre et en enrochement). Tous ces risques peuvent être minimisés en étudiant minutieusement les différents facteurs de sécurité, qu'ils soient d'ordre hydraulique ou structurel.

En outre, la construction de grands barrages implique l'inondation de terres. Le déplacement de populations et la perte de terres et de patrimoines sont des désavantages importants, qui souvent limitent les possibilités d'implantation de tels ouvrages.

Un projet, un compromis

Des centrales hydroélectriques continuent à être construites et rénovées. Que ce soit en Europe ou sur d'autres continents, des ingénieurs étudient chaque jour de nouvelles possibilités afin d'implanter des unités de production d'hydroélectricité. Il s'agit de faire un savant compromis entre, d'un côté, les avantages de cette source d'énergie verte et renouvelable, et de l'autre, les contraintes environnementale et structurelles. Un projet de ce type ne peut être une véritable réussite, de nos jours, que si toutes les contraintes sont satisfaites.