



Youenn Cosotti

HEC Paris – Management de Grands Projets

INSA de Lyon – Génie Mécanique et Conception

24 ans

La France en 2050, un modèle de mix énergétique décarboné

Nous sommes en 2050. La France compte désormais 70 Millions d'habitants¹. Le pic pétrolier de 2020 a marqué le début de la raréfaction de la ressource et a accéléré les efforts de transition énergétique. Pour faire face aux enjeux climatiques et urbains, la France poursuit son objectif de développement durable. Les innovations technologiques radicales des années 2020-2030 ont permis aux énergies renouvelables de s'imposer, à présent, à hauteur de 50 %. Aujourd'hui, la France est fière de présenter un ***mix énergétique décarboné*** et participe avec succès à la mise en œuvre du ***facteur 4*** en Europe.

Le nucléaire de IV^{ème} génération et le thermique à séquestration de CO₂ : l'électricité de base dans un contexte de contrainte environnementale

Grâce au nucléaire, la France dispose toujours d'une électricité parmi les moins coûteuses d'Europe. Cela fait 5 années que l'intégralité du parc nucléaire de première et de deuxième génération est arrivée en fin de vie (2045). La période 2020-2030 a été marquée par la diffusion de la troisième génération de réacteurs qui a apporté des améliorations en termes de compétitivité économique et de recyclage des déchets. Représentant une véritable rupture, les systèmes de la génération IV sont déployés industriellement depuis une dizaine d'années seulement³. Le recours à la surgénération a permis d'améliorer considérablement l'utilisation du minerai. C'est en 2035, au moment où l'uranium est venu à manquer, que le développement des réacteurs thermiques à sels fondus et des réacteurs rapides refroidis à l'hélium a débuté. Aujourd'hui, le nucléaire représente 40% du mix énergétique français. Il garantit des prix bas et stables de l'électricité et contribue toujours fortement à réduire les émissions de CO₂. Néanmoins, ayant déjà consommé 3% de l'uranium mondial avec son parc actuel pour moins de 1% de la population, la France ne peut toujours pas se passer du thermique à flamme.

En effet, la question de l'épuisement des réserves de charbon n'est toujours pas d'actualité au milieu du XXI^{ème}

siècle. Malgré une demande de plus en plus forte, le ratio réserves/production mondiale est encore de 150 ans⁴. En 2010, le charbon représentait près d'un quart de l'énergie consommée sur terre, mais surtout 40% de la fabrication d'électricité. Aujourd'hui, en France, toutes les centrales thermiques sont équipées de nouvelles ***technologies de capture et stockage du CO₂***. Cette technologie de séquestration du carbone, mature depuis les années 2030, contribue à diviser par 2,6 les émissions françaises par rapport à celles de 1990 et participe au succès de la mise en œuvre du ***facteur 4*** en Europe³. Cependant, devant la hausse dramatique des coûts du gaz et du charbon, il a été essentiel d'étudier les options importantes d'énergies électriques renouvelables que sont en France l'éolien et les énergies de la mer.

Le sacre de l'énergie éolienne et le succès des énergies renouvelables marines

Grâce à l'amélioration du rendement à moyen et faible vent, ***l'énergie éolienne terrestre*** dépasse toutes les autres énergies renouvelables et atteint aujourd'hui 10% de notre production d'électricité, soit une puissance de 19 000 MW³. Par ailleurs, la filière éolienne s'est tournée de façon significative vers la mer. Les nombreuses côtes de l'hexagone permettent aujourd'hui d'exploiter la puissance du vent marin à raison de 4000 heures de production contre 2500 heures sur terre⁷. Les coûts d'installation des ***éoliennes marines*** ont très fortement diminué par rapport aux estimations des années 2010-2020. Les côtes de la Manche et le littoral breton accueillent des parcs d'une puissance de 6000 MW⁷. Pour palier le problème de l'intermittence de production, des efforts conséquents ont été portés sur le développement d'une énergie complémentaire : l'énergie marémotrice.

Depuis maintenant 10 ans, l'extraordinaire potentiel des courants marins lié aux marées est transformé en électricité grâce à ***3 parcs d'hydroliennes***⁸. Deux sites au large de la Bretagne et un autre dans le Cotentin accueillent des turbines submergées *Hydrohelix* de 16 mètres de diamètre. Compte tenu des courants exceptionnellement violents

pouvant atteindre 5 m/s, ces 3 parcs génèrent une puissance de pointe de 5000 MW⁸. Le concept d'île-énergie en mer (ou de « lac émeraude ») a également complètement changé la donne concernant l'avenir énergétique français (figures 1 et 2). Fonctionnant sur le principe de stockage par pompage / turbinage, le lac émeraude de 23km² présent au large du Cotentin sert de tampon aux fluctuations de la production électrique solaire et éolienne et à l'alimentation de 37 millions de *Renault Mégane* électriques¹⁰.

Il n'y a pas qu'en France métropolitaine où les énergies marines rencontrent un véritable succès. Aujourd'hui, l'ensemble des DOM TOM, et plus particulièrement l'île de la Réunion, exploite *l'énergie thermique des mers* grâce aux centrales ETM. Cette technologie génère de l'électricité en exploitant la différence de températures entre eaux froides des profondeurs et eaux chaudes de surface⁵. Par ailleurs, le prototype de *conversion électrique de l'énergie de la houle* « *CETO* », installé au large des côtes Réunionnaises en 2011⁶, a été un véritable succès. Technologies encore incertaines dans les années 2010-2020, les systèmes *Pelamis* et *CETO* couvrent désormais une surface de plusieurs dizaines de km² le long du littoral Atlantique.

Conclusion

La France, aujourd'hui aussi peuplée que l'Allemagne, a su remettre en question sa politique énergétique et s'impose en Europe comme un modèle de développement durable. Rappelons-nous que ce succès n'a été possible que par le réel découplage entre croissance et consommation, engagé au début des années 2020. La deuxième moitié du XXI^{ème} siècle voit enfin la concrétisation des efforts de trente années de modification des modes de production, d'utilisation de l'énergie et des comportements individuels et collectifs. Tâchons de garder le cap !

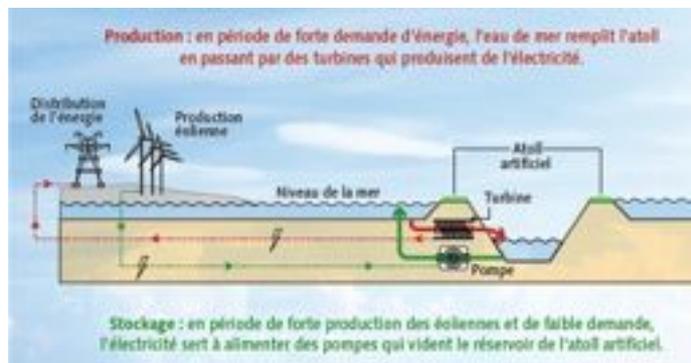


Figure 1 : Le principe des barrages appliqués en mer



Figure 2 : Les Lacs Emeraudes, une solution ambivalente pour exploiter l'énergie marémotrice des côtes de la Manche

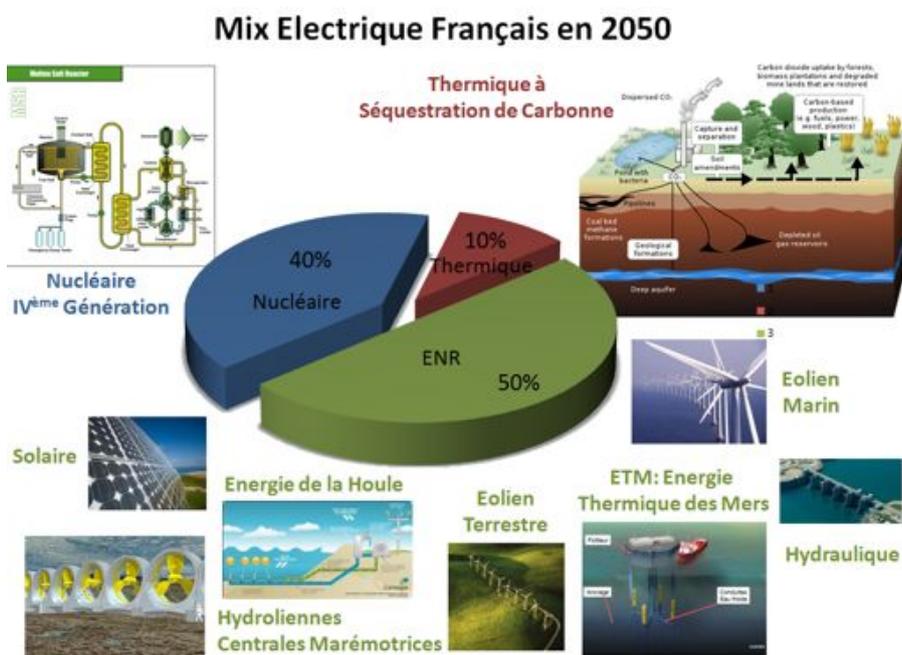
NOTES

- 1 : Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050, *Isabelle Robert-Bobée, division Enquêtes et études démographiques, Insee Juillet 2006*
 - 2 : Agence internationale de l'énergie (AIE), www.iea.org
 - 3 : Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050, Commission Énergie, Olivier Appert président du groupe 2 & Hervé Pouliquen rapporteur, Avril 2007
 - 4 : Scénario de référence de l'AIE (WEO, 2005)
 - 5 : L'énergie thermique des mers. 2009 : année charnière d'une histoire industrielle française, Frédéric Le Lidec Directeur du développement Mer de DCNS, 2009
 - 6 : ARER : Analyse des sources d'énergies renouvelables et du stockage à La Réunion en vue d'un mix énergétique 2030, Matthias LEVY, Avril – Septembre 2008
 - 7 : Rapport d'information déposé par la mission d'information commune sur l'énergie éolienne N2398, Franck Reynier.
 - 8 : Site internet des solutions d'exploitation des énergies marines. <http://www.sabella.fr/>
 - 9 : Contribution de l'électricité photovoltaïque dans le mix électrique français, HESPUL, Avril 2007
 - 10 : The Emerald Lakes : large offshore storage basin for renewable energy. F. Lempérière, Hydrocoop, 2008
- * : Méga tonnes équivalent pétrole

SOURCES

- Growing interest in carbon capture and storage (CCS) for climate change mitigation, Jennie C. Stephens, *Environmental Science and Policy, Department of International Development, Fall 2006*
- http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_storage
- http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1089
- <http://sspp.proquest.com/archives/vol2iss2/0604-016.stephens.html>
- « Le charbon liquide, carburant de substitution, fait débat », Conférence Coal to Liquid/Paris. Séverine Alibeu, 03 Avril 2008
- <http://www.letelegramme.info/ig/dossiers/energie/hydrohelix-quimper-un-savoir-faire-regional-30-12-2008-183875.php>
- Libération, Mercredi 26 Janvier 2011, L'éolien français à l'ère du large, page 16-17
- http://www.hydrocoop.org/publications/Emerald_Lakes_2008.pdf

ANNEXES



Le mix électrique Français en 2050