

UNE ÉLECTRICITÉ 100 % RENOUVELABLE : RÊVE OU RÉALITÉ ?

Emmanuel Durocher, Andrée Harari, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *La complexité du réseau et l'électricité verte* d'Yves Bréchet publié dans l'ouvrage « Chimie et changement climatique » EDP Sciences, 2016, ISBN : 978-2-7598-2035-1

NOTRE FUTUR CLIMATIQUE ET ÉNERGÉTIQUE

Dans l'histoire de la civilisation, les êtres humains ont commencé par utiliser l'énergie solaire stockée par photosynthèse dans le bois puis l'énergie mécanique dans les moulins à vent et à eau, ensuite l'énergie chimique issue du charbon, du pétrole et du gaz, enfin l'énergie nucléaire de fission et de fusion. Aujourd'hui, revenir aux sources initiales

d'énergie (solaire, hydraulique, mécanique) et décarboner l'énergie semblent être les aspects essentiels de la lutte contre le dérèglement climatique et pour la transition énergétique (1). Toutefois, l'évolution des émissions de CO₂ dans les différents pays montre que peu de choses sont déjà réalisées (Figure 1).

On voit sur la figure 2 que le nucléaire, l'hydraulique, l'éolien et le photovoltaïque représentent un

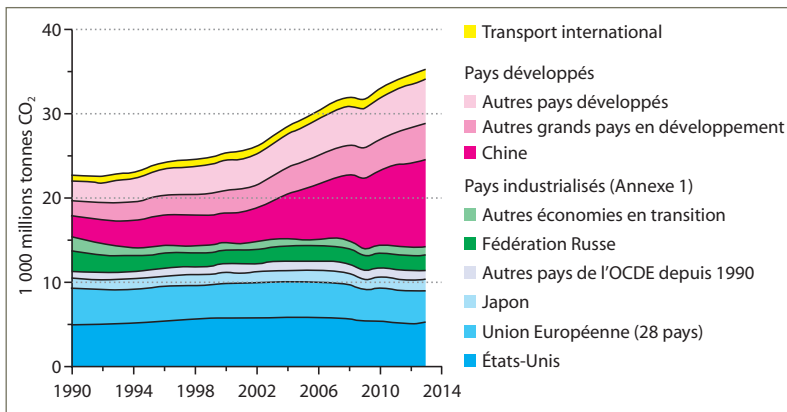


Figure 1 – La production de l'énergie et les gaz à effet de serre : émissions de CO₂ selon les différents pays, de 1990 à 2014. Peu d'évolution pour les pays occidentaux et le Japon alors que la Chine se développe en carbonant de plus en plus son économie.

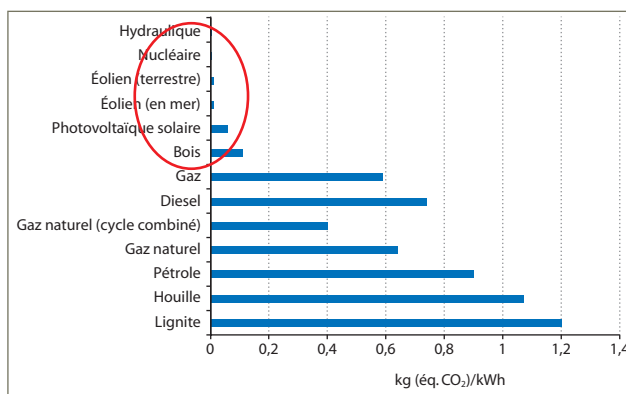


Figure 2 – Émissions de gaz à effet de serre selon les filières énergétiques.

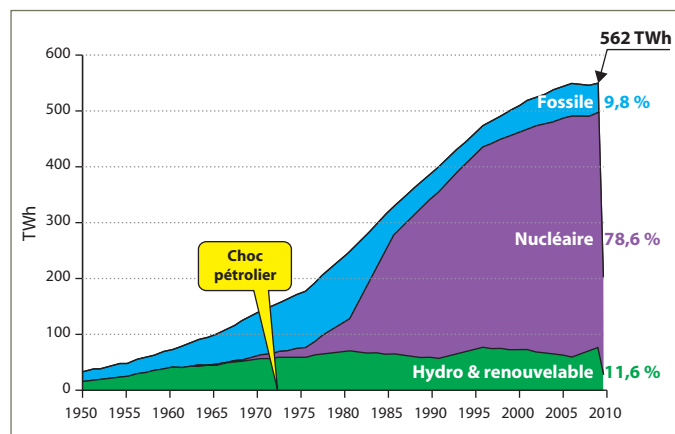


Figure 3 – Évolution des filières énergétiques françaises, source IEA.

potentiel de décarbonation des filières énergétiques. La transition énergétique a commencé en France en 1973 (Figure 3) avec la décision de remplacer le pétrole et le charbon pour produire l'électricité et la production d'électricité est aujourd'hui à 75 % d'origine nucléaire (2).

La figure 4 montre les sources d'énergie possibles en fonction des besoins de consommation : par exemple, de gros panneaux solaires peuvent alimenter une maison individuelle mais ces derniers ne suffiront pas dans le cas d'un stade, d'une usine et encore moins au niveau d'un pays cherchant à satisfaire les besoins de ses habitants et aussi de son industrie qui peut être très énergivore. Il faut de l'énergie

pour avoir des usines et des activités créatrices de richesses. Différents plans énergétiques (mix énergétique) sont envisageables pour produire la même quantité d'énergie nécessaire par personne en tenant compte de la quantité d'énergie maximale des différentes sources envisagées (voir 2 exemples sur la Figure 5 : l'un qui privilégie la source nucléaire, l'autre qui privilégie la source éolienne). Cependant, un point n'est pas négociable : il faut que l'énergie produite soit égale à ce que l'on consomme au moment où on la produit. Le stockage sur le lieu de consommation ou le transport vers le lieu de consommation permettent de relâcher cette contrainte. Ces conditions sont à prendre en compte pour faire l'analyse de n'importe quel mix énergétique proposé.

	Producteur	Consommateur (raccordé au réseau)	Consommateur (hors réseau)
1 W		Appareil en veille	Téléphone portable
10 W		HiFi, lampe basse consommation	Radio, PC portable
100 W		Ampoule, PC	Tournevis électrique
1 kW	Panneaux solaires	Radiateur, électroménager	
10 kW	Gros panneaux solaires	Maison	Traction V.E.
100 kW	Éolienne, micro-turbine, centrale photovoltaïque	Groupe froid usine Patinoire Grenoble (300 kW)	Tram (350 kW) Avion (150 kW A330 – hors propulsion)
1 MW	Éolienne	Éclairage Stade de France Hopital St Joseph	1 moteur de TGV
10 MW	Centrale solaire	Ville de 10 000 habitants Consommation électrique du CdG (16 MW – hors propulsion)	TGV
100 MW	Centrale thermique ou hydraulique	Ville de Grenoble : consommation 300 MW	
1 GW	1 tranche nucléaire, interconnexion France Angleterre (IFA 2000 – 2 GW)		
100 GW	Consommation de pointe en France (60 millions d'habitants)		

Figure 4 – Sources d'énergie possibles en fonction des besoins énergétiques à mobiliser (du watt au gigawatt) et du profil des consommateurs raccordés ou non au réseau.

UNE ÉLECTRICITÉ 100 % RENOUVELABLE : RÊVE OU RÉALITÉ ?

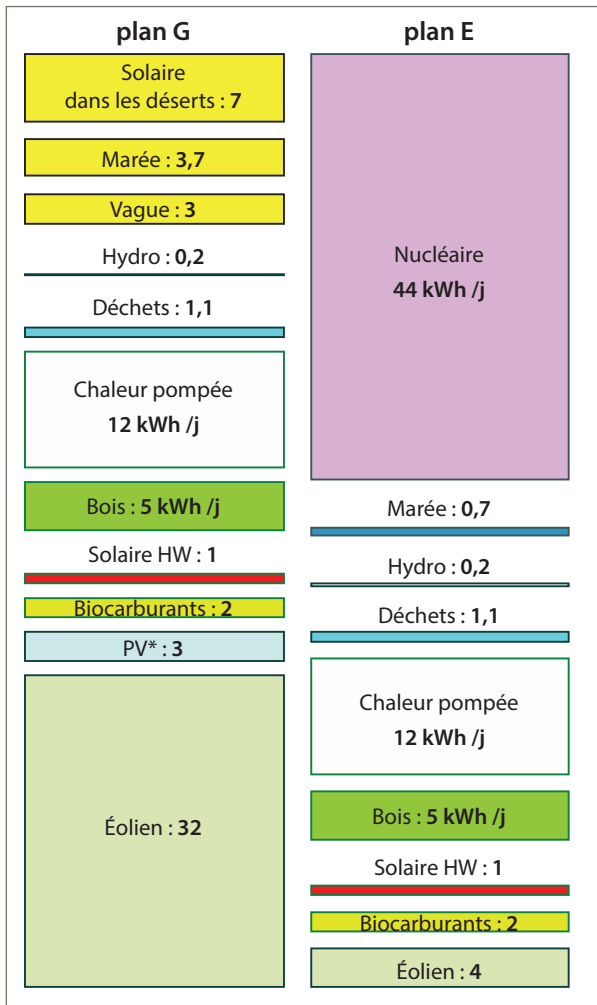


Figure 5 – Les différents plans énergétiques possibles (faisabilité) d'après David McKay.

UNE ÉLECTRICITÉ 100 % RENOUVELABLE EST-ELLE ENVISAGEABLE POUR 2050 ?

De manière générale, l'électricité est distribuée, depuis la source par des lignes à hautes tensions,

puis par un réseau de transport, et enfin à travers un réseau de distribution (Figure 6).

Plusieurs problèmes sont à prendre en compte.

1. Le problème des matériaux nécessaires pour passer de la ressource naturelle à la source d'énergie utilisable

D'origine renouvelable ou fossile, l'énergie thermique ou mécanique est transformée en énergie électrique mais il faut tenir compte des matériaux utilisés au cours de cette transformation et connaître leur masse utilisée par quantité d'énergie produite. Dans le cas du nucléaire, la quantité d'énergie produite par tonne d'acier utilisée est énorme alors que pour le solaire, au contraire, l'énergie produite est relativement faible pour de très grosses quantités de matière. Il faut donc savoir évaluer combien de tonnes de matériaux seront nécessaires pour respecter les prévisions pour l'année 2050, notamment les quantités d'acier, d'aluminium, de cuivre et de verre. La figure 7 montre qu'en 2050, pour respecter les engagements, la quantité cumulée des matériaux qui seront utilisés dans la production d'énergie photovoltaïque ou éolienne correspond à 2 à 8 fois la production totale mondiale de 2010 (3). Pour que cela soit réalisable, il ne faudrait plus construire un seul pont, une seule voiture, un seul train ou un seul bâtiment pendant plusieurs années. Il est certes possible de recycler massivement les matériaux afin d'éviter une pénurie dans certains domaines mais cette hypothèse est peu sérieuse. Il est donc important de développer sérieusement les énergies renouvelables, mais il ne faut pas les survendre.

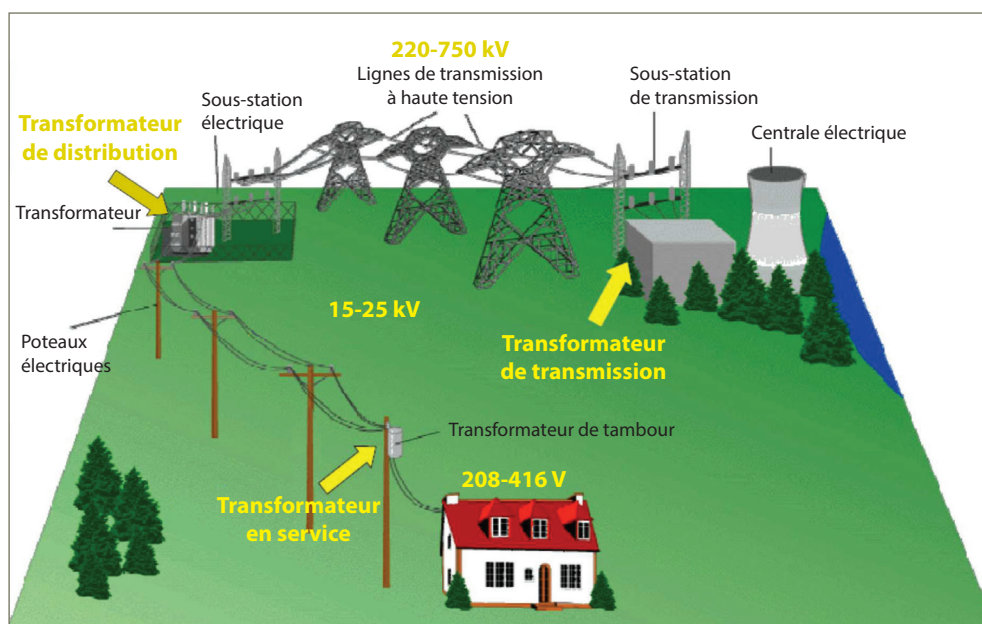


Figure 6 – Distribution de l'électricité depuis la source jusqu'à son utilisation.

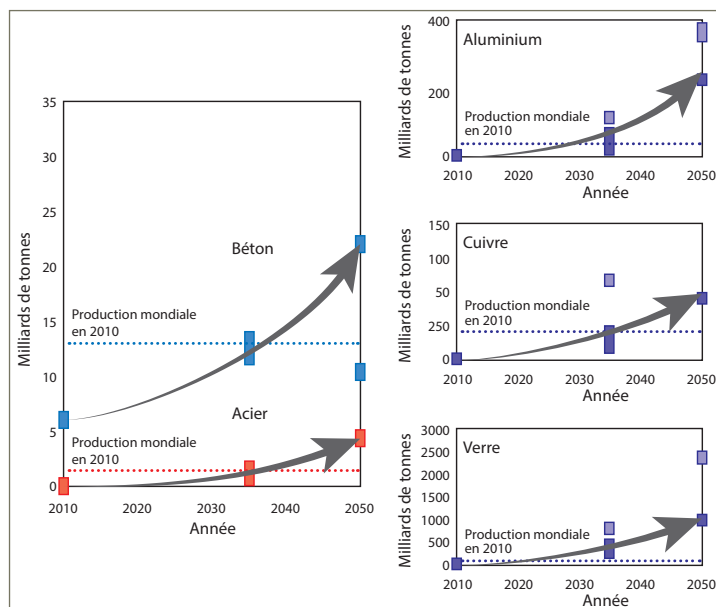


Figure 7 – Besoins en matériau (aluminium, acier, cuivre, verre) pour les prévisions actuelles de développement du photovoltaïque et de l'éolien jusqu'en 2050.

2. Le problème de l'intermittence des énergies renouvelables et du stockage énergétique

Le point suivant est le passage de la ressource utilisable à la ressource disponible qui pose le problème de l'inter distance spatio-temporelle et le choix entre la production centralisée ou décentralisée. De nouveaux modes de production et de distribution de l'électricité peuvent être développés, mais cela ne se fera pas de manière spontanée. Par exemple dans le cas de l'éolien, les fluctuations du vent qui peuvent être assez brutales sont un problème majeur : combler les manques ou les surplus en demandant aux voisins n'est pas toujours possible, le réseau n'est pas toujours adapté... Il faut donc pallier l'intermittence de ces énergies renouvelables dont les fluctuations peuvent varier de l'heure jusqu'à la seconde !

De plus les énergies renouvelables sont diffuses. La figure 8 donne quelques exemples de densités énergétiques (en W/m^2) pour différentes sources. Les énergies renouvelables ne semblent pas être une solution viable pour les zones urbaines denses et les grosses industries car comme on peut le voir, dans le cas du solaire photovoltaïque et du solaire à concentration, dans le désert, la densité énergétique n'est que de 2,5 à 15-20 watt par m^2 , soit environ cinquante fois plus faible que celle du nucléaire.

Un paramètre important pour gérer l'intermittence de ces énergies est le stockage qui doit prendre en compte les facteurs techniques (énergie, puissance et temps de réponse) et économiques (coût encore élevé) [5]. Pour les stockages de masse localisés,

Source	Densité énergétique W/m^2
Éolien	2,5
Plantes	0,5
Solaire photovoltaïque	5-20
Hydraulique piscine	3
Hydraulique au fil de l'eau	8
Solaire à concentration dans le désert	15-20

Figure 8 – Densités énergétiques des énergies renouvelables.

les plus simples et les plus efficaces sont les STEP (Station de Transfert d'Énergie par Pompage) qui permettent de stocker l'énergie à partir d'une sorte de centrale hydraulique « réversible » (Figure 9). Pour les besoins plus faibles en électricité, il existe aussi le stockage électrochimique avec les batteries ou le stockage à l'hydrogène [6]. La question du coût et des déperditions se pose néanmoins lors de la redistribution.

DE LA RESSOURCE UTILISABLE À LA RESSOURCE DÉFAILLANTE : LES RISQUES DU BLACKOUT

Un excès ou un manque d'électricité peuvent déstabiliser le réseau soumis à de fortes contraintes, lesquelles sont aggravées par l'arrivée des nouvelles sources d'énergie, intermittentes et peu prévisibles, entraînant des risques de blackout (panne de courant à grande échelle). Les conséquences potentielles peuvent en être dramatiques. En effet, l'électricité est utilisée par la quasi-totalité

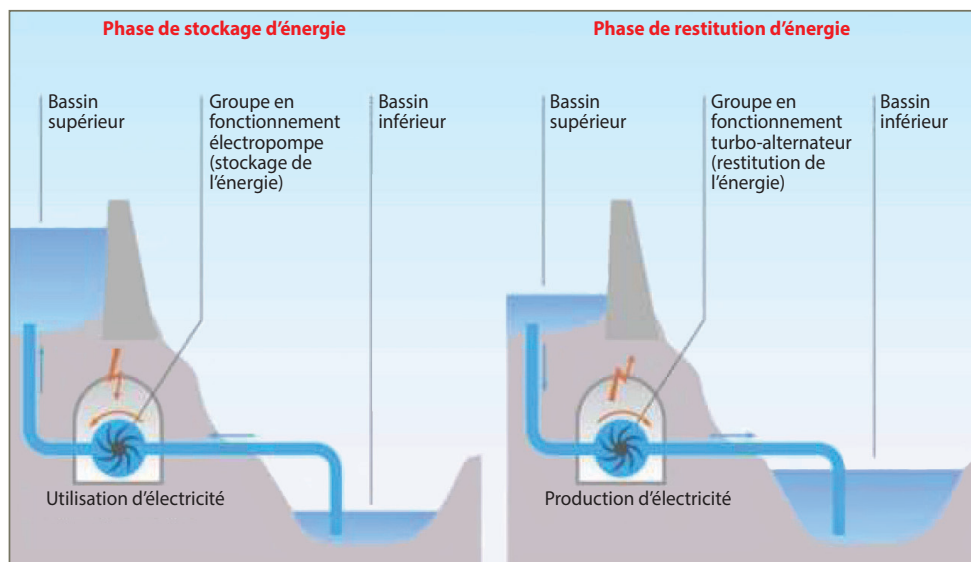


Figure 9 – Schéma d'une centrale STEP.

des activités (économique, industriel, sanitaires, défense nationale, cyber sécurité). Par exemple, la grosse panne de New York en 2003 a impacté 55 millions de personnes avec des conséquences dramatiques dans tous les domaines, celle d'Inde en 2012 a impacté 670 millions d'habitants...

CONCLUSION

Les énergies renouvelables sont au cœur de la lutte contre le dérèglement climatique et l'épuisement des ressources fossiles [7]. Elles jouent donc un rôle essentiel dans le cadre de la transition énergétique mais ce passage doit tenir compte des conditions économiques de sa mise en œuvre, du développement du réseau et des dispositifs de stockage. L'objectif de 100 % d'énergies renouvelables est irréalisable pour les trente années à venir. Il faut imaginer le mix énergétique comme un travail d'ingénieur, avançant progressivement, avec des trajectoires crédibles qui permettent effectivement de sortir d'une situation beaucoup trop

dépendante d'une source unique, en se diversifiant rationnellement.

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] La chimie face au défi de la transformation du système énergétique
<http://www.mediachimie.org/node/1327>
- [2] De la force musculaire aux énergies renouvelables (chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/node/1747>
- [3] De l'uranium à l'énergie nucléaire (animation)
<http://www.mediachimie.org/node/1291>
- [4] Ces matériaux si rares ! pour la transition énergétique
<http://www.mediachimie.org/node/2160>
- [5] La complexité du réseau et l'électricité verte
<http://www.mediachimie.org/node/1323>
- [6] Le transport ou le stockage de l'énergie électrique (Chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/node/1752>
- [7] L'hydrogène vert au secours des renouvelables
<http://www.mediachimie.org/node/1721>
- [8] Le challenge de l'électricité verte (Chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/node/1754>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Emmanuel Durocher, professeur de physique-chimie, formateur dans l'académie de Créteil

Andrée Harari, ingénieur ENSCP, directeur de recherches honoraire au CNRS, spécialité de recherches : science des matériaux

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie