



# LE CHALLENGE DE L'ÉLECTRICITÉ VERTE

**E**st-il possible de passer à 100 % de ressources énergétiques renouvelables, notamment pour alimenter notre réseau électrique ?

La réponse scientifiquement objective est oui, mais cela prendra du temps, coûtera beaucoup d'argent et nécessitera un important travail scientifique et technologique.

## *Les énergies renouvelables : un retour aux sources*

Dans la brève histoire de l'énergie du chapitre « Le futur énergétique », il est intéressant de constater que :

- l'énergie solaire dont on parle tant aujourd'hui fut en fait la première des sources d'énergie utilisée par l'homme *via* la photosynthèse naturelle ;
- qu'il en est de même pour l'énergie éolienne avec les premiers moulins à vent.

Aujourd'hui, les particuliers et l'industrie ont en permanence besoin d'électricité en quantité immédiatement disponible, ce qui engendre de nouveaux défis.



Figure 1

L'électricité à tout moment et tout le temps : un vrai défi pour les scientifiques !

## Les différentes sources d'énergie électrique possibles

Il faut avoir conscience que les sources d'énergie électrique utilisables dépendent des besoins et de la nature du consommateur qu'il soit ou non raccordé au réseau de distribution de l'électricité.

L'électricité du réseau français (et européen) est actuellement majoritairement produite en très grosse quantité par des sources centralisées (75 % des centrales françaises sont nucléaires) (Figs. 2 et 3), puis distribuée par des lignes à haute tension à travers un réseau de distribution et un réseau de transport (Fig. 4).



### Remarque

Le choix des différentes ressources ne dépend pas uniquement de considérations scientifiques, il faut tenir compte des réalités économiques et géopolitiques de chaque pays (nombre d'habitants et d'industries, croissance économique, pays en développement, capacité à produire sa propre énergie en quantité suffisante...).



Figure 2

Évolution des filières énergétiques françaises et quelques dates clés :  
 1970 : appel d'offres pour 6 x 900 MWe (Mégawatt électrique) réacteurs à eau pressurisée (REP) Westinghouse ; 1973 : programme de plus de 28 REP-900 ; 1980 : renonciation à la licence Westinghouse ; années 1980 : déploiement de 20 REP-1300 ; années 1990 : déploiement de 4 REP-N4 ; 1992 : Lancement de l'EPR par NP-Int<sup>nl</sup>. Source : IEA.

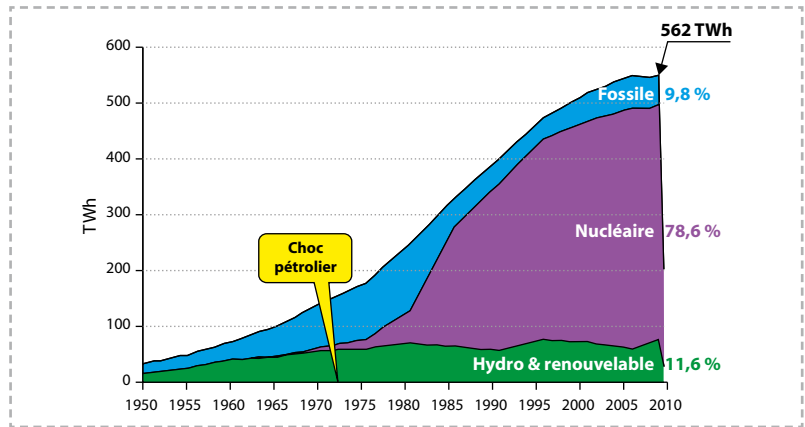


Figure 3

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

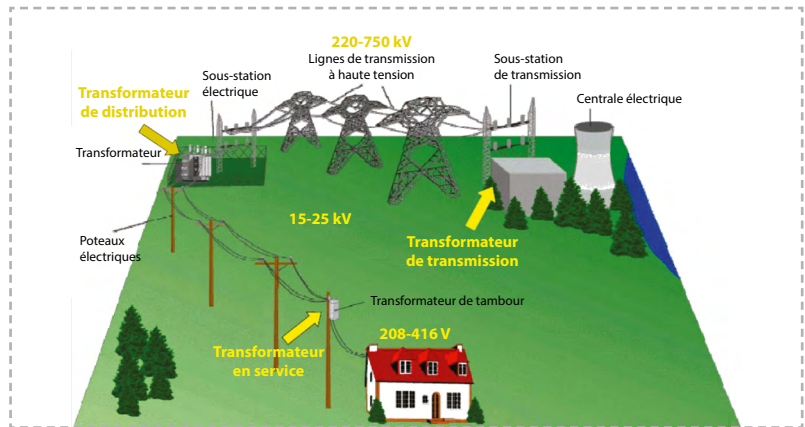
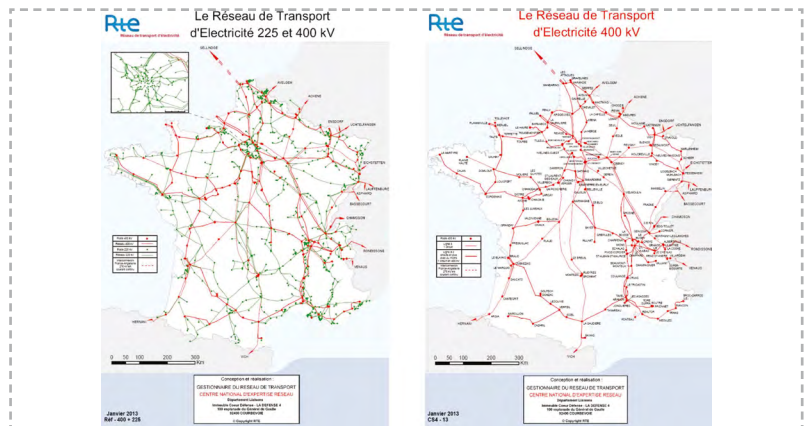


Figure 4

Le réseau de transport français d'électricité 225 kV et 400 kV (janvier 2013). Source : RTE.





Au contraire, les sources d'énergies renouvelables (solaire et éolienne) sont décentralisées et produisent de plus petites quantités d'énergie. Comment les intégrer dans le RTE qui est un réseau non seulement national mais européen ?

La majorité des gens pensent actuellement que l'on peut, si on le veut, passer très rapidement à un panier énergétique presque 100 % renouvelable (2050).

Pour passer du nucléaire aux énergies renouvelables (l'électricité verte), il faut tenir compte de ce qui est scientifiquement et objectivement possible, entre autres :

- les énergies renouvelables ne sont gratuites que lorsqu'elles ne sont pas exploitées ;
- leur mise en œuvre demande des investissements lourds et leur utilisation dans le RTE ne pourra se faire qu'après la résolution d'un certain nombre de problématiques.



**RTE** : réseau de distribution de l'électricité.

# Les contraintes de la mise en place d'un réseau électrique « vert »

## Le volume des matériaux utilisés

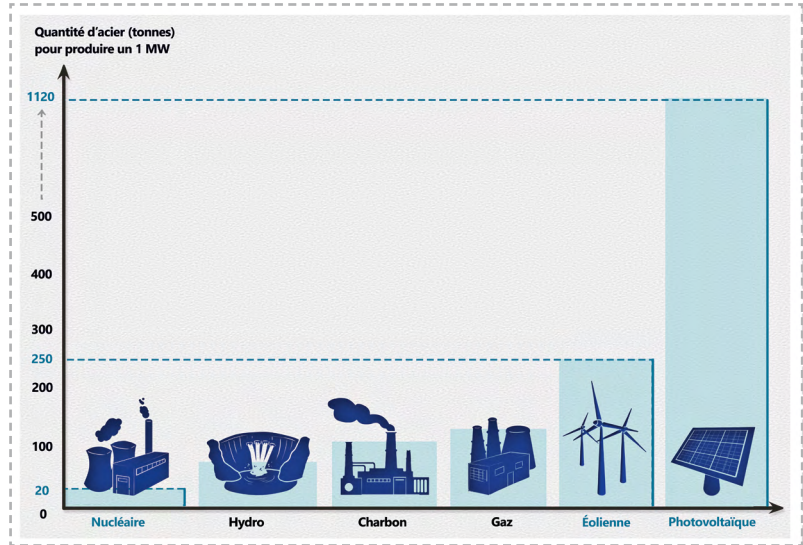
Un problème qui n'est pas des moindres est celui de la quantité de matériaux utilisés pour fabriquer des panneaux photovoltaïques ou des éoliennes. En effet, leur fabrication exige beaucoup plus de matériaux que le nucléaire (voir chapitre « De la force musculaire aux énergies renouvelables »).

La figure 5 compare la quantité d'énergie produite par tonne d'acier utilisée selon les différentes sources d'énergie qui l'utilisent. On voit que l'éolien et le photovoltaïque consomment plus de trois fois plus d'acier pour produire un mégawatt que le nucléaire.



Figure 5

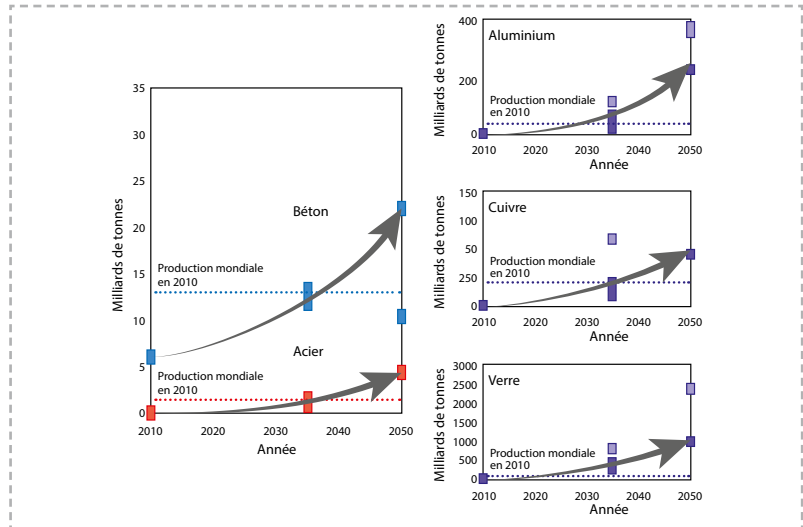
Quantité d'énergie produite par tonne d'acier par différentes sources d'énergie.



Dans ces conditions, il faut prendre conscience que pour développer le photovoltaïque et l'éolien, selon les prévisions politiques actuelles, il faudrait d'ici 2050 multiplier par deux à huit la production actuelle non seulement de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du cuivre et du verre (Fig. 6).

Figure 6

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



Pour que cela soit réalisable dans le cadre de la production actuelle de ces matériaux, il ne faudrait pas construire de ponts, de voitures, de trains, de bâtiments pendant deux à huit ans !



Il est important de développer les énergies renouvelables mais il ne faut pas survendre et ignorer les problèmes.

## L'intermittence

La plus grosse difficulté des énergies renouvelables repose sur leur intermittence (voir chapitre « De la force musculaire aux énergies alternatives »), c'est-à-dire qu'elles ne sont pas forcément disponibles au moment voulu, de plus elles dépendent des conditions météorologiques.

Il faut pouvoir compenser les fluctuations qui peuvent apparaître brutalement et pendant des durées très variables d'une seconde à une heure ou plus. Dans le cas notamment des éoliennes, les variations peuvent être très brutales et pas toujours prévisibles.

Quand il n'y a plus de vent dans une région, il faut aller le chercher au-delà et donc faire un maillage des zones de distribution, qui peut aller assez loin, voire à plusieurs centaines de kilomètres et il doit tenir compte des zones géographiques (montagne ou plaine) et des conditions météorologiques moyennes de la région.

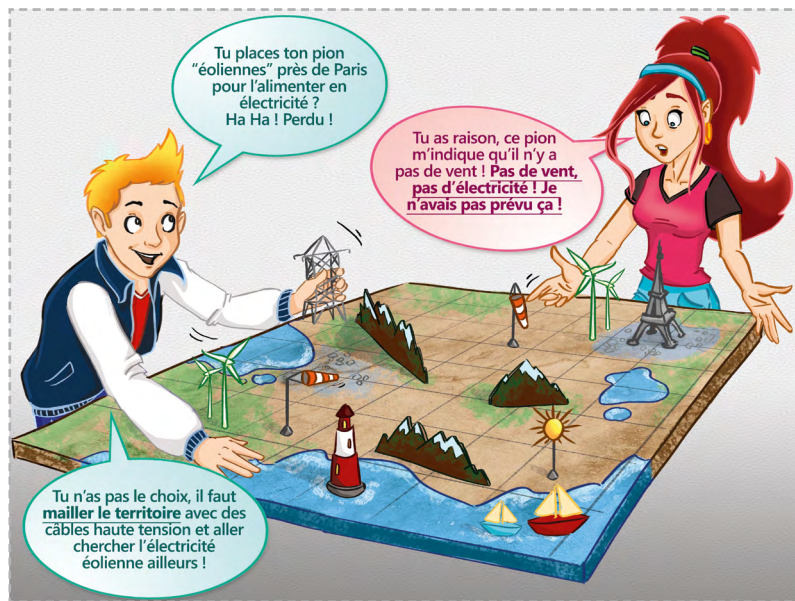


Figure 7

L'intermittence pose des défis importants pour intégrer l'électricité verte.



## La délocalisation

Pour produire la même énergie qu'une centrale électrique nucléaire, il faudra prévoir un espace de production environ cinquante fois plus grand, et cela même dans le cas du solaire photovoltaïque dans le désert qui a pourtant la densité énergétique la plus élevée.

Le *tableau 1* montre le nombre de mètres carrés nécessaire pour produire un watt selon le type d'énergie renouvelable.

**Tableau 1** Densités énergétiques des énergies renouvelables.

Source	Densité énergétique W/m <sup>2</sup>
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

Pour diminuer la production d'électricité nucléaire de 75 à 50 % et compenser cette diminution par des énergies renouvelables, l'examen des ordres de grandeur (*Tab. 2*) montre qu'il faudra équiper en parcs d'énergies renouvelables, une surface égale à la superficie de l'Île-de-France et que le coût sera voisin de 300 milliards d'euros.

**Tableau 2** Comparaison en termes de surface de terrain et de coût des différentes énergies renouvelables envisagées pour remplacer le nucléaire en France pour aboutir à 50 %.

	Éolien terrestre	Éolien mer	Solaire photovoltaïque	Thermique
Surface par GW installé (km <sup>2</sup> )	142	80	32	0,32
Coût par GW installé (Md€)	1,99	3,33	3,74	1
Puissance à installer	50	19	35	42
Surface (km <sup>2</sup> )	7 092	1 520	1 117	13
Coût (en G€)	99	63	131	42
Coût total				335 Md€



## Le stockage

Nous venons de voir que la production d'électricité issue de l'énergie renouvelable à un moment donné dépend d'une part de la météo, d'autre part de l'heure en ce qui concerne le photovoltaïque.

Planifier la consommation pour répondre aux pics d'utilisation est donc peu réaliste : on ne peut pas obliger les gens à prendre leurs repas, par exemple, à la même heure !

Les difficultés d'utilisation des énergies renouvelables ne sont évidemment pas les mêmes pour les particuliers pour lesquels il suffit de stocker localement de petites quantités d'énergie, et pour les centres urbains ou les sites industriels pour lesquels il faut centraliser le stockage de grosses quantités d'énergie pendant des durées plus longues.

### Le STEP

Pour stocker de grosses quantités d'énergie pendant longtemps, le moyen le plus simple et le plus efficace est le STEP (Fig. 8).



**STEP** : station de transfert d'énergie par pompage.

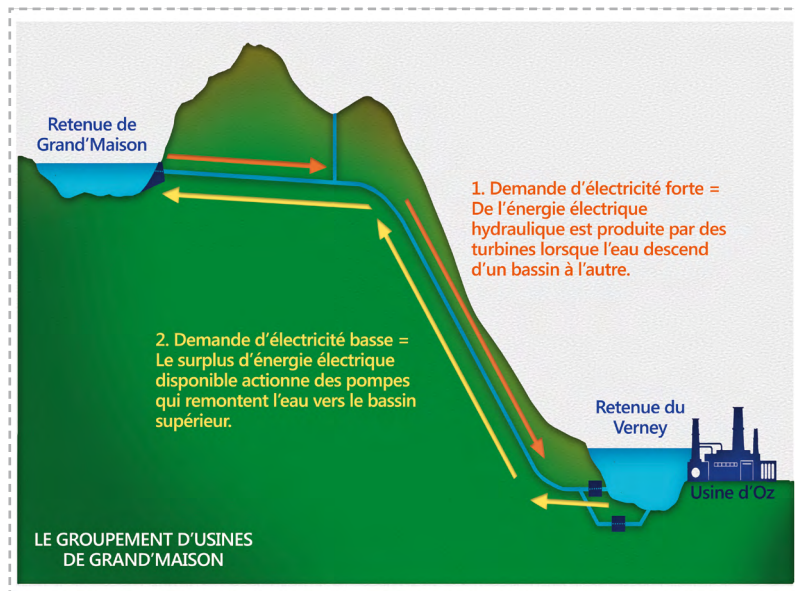


Figure 8

L'exemple du bassin de Grand'Maison.

On utilise le principe de production de l'électricité hydraulique. Quand la demande d'énergie est basse, le surplus d'énergie est utilisé pour





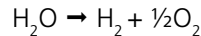
actionner une pompe qui permet de transférer l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur et l'énergie est inversement récupérée à partir d'une turbine hydraulique en cas de forte demande d'électricité, ou de pénurie de production.

La France ne dispose actuellement que d'une capacité de stockage de 4,9 GW, ce qui est faible par rapport aux 129 GW d'énergie renouvelable installés avec une durée de fonctionnement d'une vingtaine d'heures. Cela correspond à une production moyenne de 34 GW/h, ce qui est très faible quand on compare aux 540 TW/h de la consommation actuelle d'électricité.

### Le procédé Power to gas

L'hydrogène vient se positionner en complément des STEP pour stocker de l'énergie en quantité importante sur une longue durée.

On peut stocker l'énergie électrique excédentaire produite par les sources renouvelables pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau.



Cet hydrogène peut être ensuite combiné à du gaz carbonique d'origine industrielle (pour éviter que ce dernier ne rejoigne l'atmosphère) pour produire du méthane  $\text{CH}_4$  stocké pour une utilisation ultérieure.

Il faut néanmoins se poser la question du coût et des déperditions quand il faut transporter l'énergie stockée.

### Les batteries

Les batteries sont actuellement moins performantes que les STEP pour le stockage de masse de l'énergie électrique nécessaire à l'industrie.

**Figure 8**

L'entreprise française Saft conçoit des batteries de haute technologie pour l'industrie. Crédit : Saft D. Edmunds CAPA Pictures.



Le stockage par STEP coûte actuellement trois fois moins cher que le stockage par batterie. Cependant, de nombreux laboratoires travaillent sur ce sujet et la société SAFT conçoit dès à présent ce type de batteries de haute technologie pour lesquelles de nouveaux matériaux doivent être développés (Fig. 8).



Les batteries lithium-air et les batteries à écoulement devraient, à terme, permettre de stocker de plus grosses quantités d'énergie par unité de masse, mais elles ne sont pas encore suffisamment fiables.

Actuellement, les batteries ne permettent pas de stocker l'énergie sur plusieurs jours, voire plusieurs semaines, en raison des problèmes d'auto-décharge, de volume et de masse utilisée. De plus, il faut les transporter ou les rassembler près de leur lieu d'utilisation.

## Les conséquences d'une défaillance du réseau électrique

Un surplus ou un manque d'électricité peuvent déstabiliser un réseau qui est soumis à de fortes contraintes, et avoir des conséquences graves entre autres en raison de la dimension européenne des réseaux.

Ces contraintes sont aggravées avec l'arrivée des nouvelles sources intermittentes, peu prévisibles.

Le **tableau 3** reporte quelques gros *black-out* qui ont eu lieu de par le monde ces dernières années.

**Tableau 3** Historique des blackouts importants.

	Profondeur	Date
Italie	50 millions d'habitants	29 septembre 2003
États-Unis (New York)	55 millions d'habitants	14 août 2003
Indonésie	100 millions d'habitants	18 août 2005
Brésil et Paraguay	87 millions d'habitants	10 novembre 2009
Inde	670 millions d'habitants	31 juillet 2012

En France, EDF a l'obligation, en cas de panne, d'amener les personnes qui ont un besoin impératif d'électricité dans les hôpitaux qui sont équipés en groupes électrogènes.



### Remarque

Les dysfonctionnements peuvent être lourds de conséquences puisque l'électricité est utilisée par toutes les activités de domaines multiples et variés : industriels, sanitaires, Défense nationale, cybersécurité...



EDF : Électricité de France.



EDF peut raisonnablement gérer une complication si elle se limite à une ville, à un canton, à la limite à un département, mais cela devient très difficile pour une région.

Quand on analyse les grandes pannes, il n'est pas exclu de mettre plusieurs jours, voire une semaine pour remettre le réseau en marche.

C'est donc un vrai défi industriel et un problème de santé publique de disposer d'aides idéalement situées pour un coût raisonnable.

### Conclusion

**Les énergies renouvelables jouent et joueront un rôle important dans la production d'électricité. Une solution rapide 100 % renouvelable en France n'est pas envisageable à court terme puisqu'il reste encore beaucoup de progrès à faire pour réussir à stocker durablement l'énergie. Il ne faut pas négliger les lois de la physique qui ne sont pas négociables et les investissements financiers indispensables pour passer du nucléaire au « vert ».**

**N'oublions jamais le bon sens dans toutes les démarches, l'objectif majeur étant de décarboner l'énergie.**