

Conclusions

2- Quelle transition énergétique ?

L'effort de clarification que nous venons de faire dans ce livre nous permet d'entrevoir des solutions durables et rationnelles dans la situation compliquée que nous vivons aujourd'hui : le conflit ukrainien a permis de mettre en lumière les erreurs monumentales commises par la plupart des gouvernements dans le choix de leur politique énergétique.

On a vu que pour éviter un trop grand dérèglement climatique, il fallait abandonner les énergies fossiles (celles-ci, de toute façon, devraient s'épuiser d'ici à quelques dizaines d'années). On n'a donc pas le choix.

Pour y parvenir, on dispose d'un certain nombre de moyens, dont certains ne sont pas contestés et d'autres font l'objet de débats animés.

Les prises de position en la matière sont parfois étonnantes, par exemple celle qui consiste à vouloir abandonner tout à la fois l'énergie nucléaire et les énergies fossiles dans des délais très courts. Il est bon de rappeler que cet ensemble (fossiles et nucléaire), c'est actuellement près de 90 % de la consommation d'énergie finale en France et dans le monde. Leur mise à l'écart est si difficile à mettre en œuvre qu'on ne peut pratiquement pas l'envisager à l'échéance de ce 21^{ème} siècle. Il y a beaucoup trop de contraintes et l'ampleur des transformations à mener est considérable. Aujourd'hui dans le monde, circulent 1,4 milliard de véhicules motorisés à quatre roues. Il devrait y en avoir 1,9 milliard en 2050. Dans le « meilleur » des scénarios, environ 600 millions d'entre eux seront alors propulsés par des moteurs électriques (Transitions et Energies n° 10).

Pour atteindre le zéro émission nette, il faudrait ramener la part des énergies fossiles dans le bouquet énergétique à 20 %. Au début des années 1990, elle était de l'ordre de 82 %. Au début des années 2000, elle était toujours de quelque 80 % ! C'est dire le chemin qui reste à parcourir.

Autre défi proposé par certains milieux écologistes : introduire dans le « mix » énergétique une très grande proportion d'énergies électriques intermittentes (éolien et solaire), pratiquement sans le concours de centrales d'« équilibre » (bannies, souvent, parce que fonctionnant aux énergies fossiles et fossiles) pour parer aux pannes de vent et de soleil. Cette proposition fait l'objet de débats tendus.

L'impatience est mauvaise conseillère. Nous sommes d'accord pour écarter les sources d'énergie polluantes, mais de manière progressive, sans compromettre la production d'énergie... Pour faire fonctionner l'industrie et les travaux publics, il faut des machines puissantes qui, aujourd'hui, fonctionnent la plupart du temps aux énergies fossiles.

Il conviendrait à notre avis, avant toute autre chose, de privilégier les sources d'énergie qui font quasiment l'unanimité et de voir comment et jusqu'à quel point on peut abandonner les autres. Il serait bon de raisonner de la manière suivante : aussi longtemps que nous ne disposerons pas de moyens de production d'énergie fiables, assurant la sécurité électrique, gardons les moyens actuellement largement dominants le temps qu'il faudra. Il ne sert à rien de détruire l'ancienne économie avant d'avoir construit la nouvelle, au contraire, on risque ainsi de ne rien construire du tout.

De quoi disposons-nous en fait pour prendre le relais des sources fossiles et éventuellement du nucléaire ?

De nombreux écologistes proposent les EnR intermittentes. C'est une solution médiocre.

Entre autres, la **puissance produite par l'éolien fluctue considérablement** : elle peut être aussi faible que 1 % de sa puissance installée (nominale) totale. Elle coïncide donc rarement avec la puissance consommée. Pour assurer la stabilité et la sécurité du réseau électrique, il faut la mixer avec celle de centrales pilotables. Accroître le nombre des éoliennes n'est en rien une solution à l'intermittence, mais une source de difficultés croissantes dans la gestion du mix électrique.

Seul le solaire pourrait être utile.

Le solaire photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité à partir de panneaux solaires, est critiqué aussi, à juste raison, en raison de son intermittence. Cependant, il a **plus d'arguments en sa faveur à faire valoir**, à cause de la plus grande variété de ses usages possibles, de ses possibilités d'améliorations plus importantes, de ses inconvénients moindres pour ses riverains et surtout de ses possibilités non négligeables dans des pays plus ensoleillés que les nôtres.

Il devrait permettre par son utilisation croissante en autoconsommation sur toitures, de soulager les besoins de fourniture d'électricité sur le réseau national. C'est un avantage certain. De plus, de grandes avancées technologiques sont en cours. Le photovoltaïque permet de satisfaire un très grand nombre de besoins, dont, par exemple, les besoins domestiques, et la recharge des batteries dans le cadre de la mobilité électrique, à condition, bien entendu, qu'on puisse fabriquer, sur la durée, les batteries nécessaires. Il reste que les progrès du photovoltaïque ne sont pas aussi rapides qu'on pouvait l'espérer.

Dans ces conditions, sur quoi peut-on compter ?

La sobriété et l'efficacité énergétiques

L'efficacité énergétique. D'une manière générale, elle se définit comme la capacité à atteindre un indice de développement donné pour une dépense énergétique minimale. C'est une préoccupation constante dans notre société et dans notre système de production. Des centaines de milliards sont investis chaque année à cet effet dans le monde. Et effectivement, cela a permis de diminuer sensiblement la dépense énergétique. Toutefois, selon l'AIE (Agence internationale de l'Energie), cet effort, qui est ce qu'on peut faire de mieux pour empêcher la progression du CO₂ dans l'atmosphère, n'est pas suffisant. Il faudrait en doubler le financement.

Quant à la sobriété énergétique, qui consiste à consommer moins par choix (de nourriture, de Data, d'objets manufacturés,...), elle peut permettre de gagner des points, mais c'est une solution qui fait penser à la décroissance, qui demande des efforts individuels et qui, pour cette raison, est d'une portée limitée. Il n'y a pas de miracle à attendre dans ce domaine.

Les solutions chaleur

On l'a dit et répété : les usages de la chaleur, entre autres pour le chauffage des locaux du résidentiel et du tertiaire, représentent près de la moitié de la consommation finale d'énergie. Plutôt que d'utiliser des énergies fossiles (actuellement, plus de 60 % pour le chauffage), on peut recourir aux solutions renouvelables, dont toutes les formes de géothermie. Cette ressource, qui permet de produire de la chaleur, mais aussi de l'électricité de manière durable, et qui est à proximité, sous notre propre sol ou sous-sol, est pourtant négligée à tous les niveaux des pouvoirs publics. La PPE française n'en prend guère le chemin (Le soutien des pouvoirs publics aux filières de chaleur était en 2016 de 8 fois inférieur à celui consacré aux EnR électriques).

La création et le renforcement de réseaux de chaleur devraient être une priorité : on l'a vu, la chaleur récupérée ou produite soit par **la géothermie de proximité, avec le concours de pompes à chaleur ou non**, soit par le **solaire thermique**, peut être utilisée afin de chauffer les logements, les bâtiments publics

et privés et leur fournir l'eau chaude sanitaire. Comme les usages de la chaleur représentent près de la moitié de la consommation finale d'énergie, on voit qu'il y a là de bonnes possibilités de réduire l'utilisation d'énergie fossile. La marge de progression est énorme. Contrairement à l'électricité, la chaleur est stockable, même sur la durée. C'est une voie à creuser, la production d'énergies renouvelables thermiques devrait être préférentiellement développée, car plus efficace que les EnR électriques.

La géothermie (profonde) permet aussi de produire de l'électricité. Pour cela, il est nécessaire de creuser plus profondément (plusieurs kilomètres), mais pourquoi pas ? C'est une technologie connue, couramment utilisée pour des forages d'exploration pétrolière, dont certains, abandonnés, pourraient être réutilisés en géothermie profonde. Cette recherche doit être amplifiée.

L'hydraulique, très fiable, mais qui ne peut plus guère être développée en France, à l'exception peut-être du petit hydraulique (dont des petits barrages au fil de l'eau).

La biomasse : Si c'est fait convenablement et proprement, on peut espérer la faire contribuer aux objectifs de lutte contre le réchauffement climatique.

Toutes ces solutions devraient permettre de faire un bon bout de chemin, mais **pourraient ne pas suffire**, car les transports, l'industrie et l'agriculture, qui aujourd'hui, consomment les deux tiers de l'énergie finale, fonctionnent essentiellement avec des énergies fossiles (produits pétroliers et gaz). C'est énorme et ça ne se remplace pas très facilement.

Concernant les transports, **la solution qui a été retenue par les gouvernements est la mobilité électrique : l'électricité devrait remplacer l'essence et le diesel, stockée dans des batteries ou des piles à combustible**, mais cela n'est pas sans poser de multiples problèmes : le coût des batteries ne devrait pas s'améliorer rapidement, la fiabilité des véhicules qui les utilisent reste et restera un bon moment encore insuffisante. On peut s'attendre à ce que le parc de véhicules électriques ne se développe que fort lentement. Quant aux **véhicules à hydrogène**, la solution ne sera pas retenue à grande échelle à cause du coût très élevé de production de l'hydrogène « vert », (mais aussi de stockage, et de transport). Cependant, en dépit de son coût élevé, pour les transports de poids lourds et maritimes pour lesquels une solution à batteries ne sera probablement jamais possible, du moins pour les longues distances, la solution hydrogène pourrait être retenue.

Pour se faire une idée du temps qu'il faudrait pour mettre en place la mobilité hydrogène, il est bon de savoir que l'Union européenne s'est donné comme objectif d'avoir 100.000 camions fonctionnant à l'hydrogène sur les routes d'ici 2030. Au regard des trois millions de camions qui circulent en Europe continentale, cela peut sembler modeste. Mais pour alimenter en hydrogène vert 100.000 camions, il faudrait produire plus de 92 térawatt-heures d'électricité décarbonée, l'équivalent de 15 réacteurs nucléaires ou de 910 kilomètres carrés de panneaux solaires (Transitions et Energies n° 10).

Apparemment donc, **on s'oriente vers le tout électrique**, ce qui ne laisse pas de poser de multiples questions : celle de l'activité minière, pour les batteries, dont les effets sur l'environnement annihilent pratiquement les gains en CO2 gagnés dans la mobilité électrique, celle des ressources en métaux (terres rares, nickel, cobalt,... et surtout cuivre). Et par ailleurs, pour que la mobilité électrique puisse se

développer, il faudra nécessairement produire davantage d'électricité et être en mesure de la stocker à grande échelle, ce qui ne sera pas possible avant longtemps....

Au sujet de l'hydrogène, il existe deux écueils : d'une part, il est très inflammable et explosif, d'autre part, il est un puissant gaz à effet de serre, lorsqu'il fuit dans l'atmosphère (ce qui se produit aisément, l'hydrogène étant la plus petite des molécules gazeuses, les risques de fuites sont plus importants qu'avec n'importe quel autre gaz). Il prolonge la durée de vie dans l'atmosphère du méthane, dont on sait que le potentiel de réchauffement global est élevé, et il participe à la formation d'ozone et de vapeur d'eau dans la troposphère.

Récapitulons :

On ne peut guère compter sur les EnR intermittentes. Les EnR pilotables permettront de faire un bon bout de chemin si elles sont bien exploitées, mais pourraient aussi ne pas suffire à la demande. On ne peut pas le savoir puisque d'une part les pouvoirs publics privilégient les solutions intermittentes et que de ce fait les pilotables ne font pas l'objet d'études prospectives et sont insuffisamment développées.

De ce fait, des discussions, vives parfois, ont lieu sur l'opportunité de conserver l'énergie nucléaire (qui représente 12% de l'énergie mondiale), voire de la développer. Ce débat est planétaire. En Europe, on l'a vu, plusieurs pays ont décidé de l'abandonner. La difficulté est que, pour maintenir la production d'électricité à un niveau suffisant pour assurer la sécurité électrique, il faudra toujours avoir recours à des centrales au charbon ou à gaz, qui sont polluantes et productrices de CO₂. C'est le serpent qui se mord la queue.

Beaucoup d'autres pays ont décidé de maintenir la production d'électricité nucléaire, non seulement en entretenant les centrales en activité, mais encore en construisant de nouvelles, surtout vers l'Est et le nord de l'Europe.

Faut-il « jeter » le nucléaire avant d'avoir trouvé d'autres solutions ?

C'est une énergie dense, pas très chère, et surtout pilotable et décarbonée (donc bonne pour le climat !). Mais les risques sont loin d'être négligeables, d'où des débats vifs et nourris.

Nous ajouterons comme Jean-Marc Jancovici (13 décembre 2019 dans Le Figaro) :

« Le nucléaire fait partie des canots de sauvetage. À partir du moment où le navire principal -les fossiles - prend l'eau, et que vous devez le saborder aussi vite que possible pour des raisons climatiques, il vous reste les canots de sauvetage: les économies d'énergie, les énergies renouvelables et le nucléaire. Les militants qui s'opposent au nucléaire disent en fait «je ne veux pas utiliser un des canots de sauvetage car le gouvernail pourrait grincer». Ça ne fait pas baisser le risque global, ça l'augmente! »

La question des risques se situe à deux niveaux : le danger qu'il représente et l'existence de déchets difficiles à traiter, à éliminer. Certes, **les accidents du nucléaire** sont spectaculaires. Mais le danger n'en est pas moins **surestimé. Par exemple, sait-on que l'utilisation du charbon ferait à l'échelle mondiale environ 1100 fois plus de morts que le nucléaire pour une même quantité d'électricité produite** (étude de James Conca, 2018) ?

Le nucléaire pourrait être plus fiable, mais à condition qu'on abandonne les filières classiques, et qu'on s'oriente vers des filières et les solutions techniques prometteuses, très peu ou pas exploitées, comme :

- le nucléaire de 4ème génération, les réacteurs à sels fondus, et les réacteurs à neutrons rapides (par opposition aux réacteurs actuels qui sont à neutrons thermiques).
- l'utilisation de la chaleur perdue,
- les réacteurs utilisant le thorium 232
- et les SMR (Small Modular Reactors).

Les réacteurs à neutrons rapides sont refroidis au sodium. Ils rendent possible l'utilisation de l'uranium 238, bien plus abondant que l'uranium 235 actuellement utilisé pour produire l'énergie. Ils permettraient le recyclage à l'infini de nos stocks de combustible nucléaire, car ils utilisent l'essentiel de l'uranium.

Quant aux Small Modular reactors (petits réacteurs modulaires), comme il en existe déjà sur des sous-marins et des porte-avions, ainsi que sur des brise-glaces russes en Arctique, ils sont plus faciles à construire en série, donc moins coûteux par MW de puissance que les puissants réacteurs actuels... et beaucoup plus sûrs.

Notons au passage que la France dans sa volonté de renouer avec le nucléaire, annoncée à Belfort le 10 février 2022 (14 nouveaux réacteurs EPR devraient être construits dans les trente prochaines années), a choisi la moins bonne des solutions.

Mais une perspective intéressante est aussi celle du **réacteur à fusion** : cette possibilité est en cours d'expérimentation, avec un financement international, le projet international « ITER », à St Paul-les-Durance en Provence.

Il s'agit de reproduire les réactions de fusion de l'hydrogène qui se déroulent au cœur du soleil et des étoiles et de démontrer que ces réactions peuvent être exploitées pour produire une énergie sûre, virtuellement inépuisable et respectueuse de l'environnement. Un réacteur à fusion, dénommé TOKAMAK, produisant 10 fois plus d'énergie qu'il n'en consommera, qui confinerà grâce à de puissants champs magnétiques un plasma chauffé à 150 millions de degrés, sera capable de produire une énergie presque sans limite, les particules énergétiques s'entretenant d'elles-mêmes, sans la moindre émission de gaz à effet de serre et sans déchets radioactifs.

C'est donc une future énergie renouvelable, inépuisable, qui serait extrêmement efficace, permettant de lutter contre le réchauffement climatique à grande échelle, tout en fournissant théoriquement l'énergie nécessaire pour toute la planète. On prévoit les premiers prototypes industriels vers le milieu du XXIè siècle (2040-2045) et l'énergie de fusion alimentant le réseau électrique mondial en 2060.

Cependant, des start-up, aux USA (le MIT) et en Grande-Bretagne, en Corée du Sud et en Chine, sont en train de mettre en place des réacteurs à fusion, de dimension plus modeste, mais orientés vers une production d'électricité commercialisable beaucoup plus rapidement. Elles sont déjà plus de 20 dans le monde à s'être lancées dans cette aventure. C'est, peut-on penser, que les chances de succès ne sont pas négligeables. Affaire à suivre.

En attendant cette perspective, donnons déjà la préférence aux énergies renouvelables pilotables actuellement opérationnelles, soit : pour l'électricité : l'hydroélectricité (peu de possibilités supplémentaires restent en France) et pour la chaleur renouvelable : la récupération des chaleurs perdues, ainsi que le solaire thermique et la géothermie de proximité, à développer à bien plus grande échelle, sans limitation et dont il faudrait doubler, voire tripler les subventions pour « faire le break » dans la décarbonation des bâtiments.

Un mot pour terminer, sur les décisions prises actuellement et les débats en cours.

« Sans se concerter, tous les pays européens ou presque ont adopté la même stratégie. Elle consiste à remplacer des moyens de production d'électricité dits pilotables par des renouvelables intermittents et aléatoires. De ce fait, selon une étude très récente et alarmiste, France Stratégie estime que dès 2030 et

sans doute même avant, le réseau électrique européen «ne pourra plus faire face à toutes les demandes de pointe moyenne». **En clair, les pénuries et les coupures seront fréquentes.**

En Europe, 110 GW de puissance pilotable devraient être retirés du réseau européen d'ici 2030-2035, en particulier de nucléaire. Dans le même temps, les capacités installées en EnRi (Energies renouvelables intermittentes) deviendront très importantes. Avec environ 400 GW, elles devraient dépasser peu après 2025 celles des moyens conventionnels (grand hydraulique inclus). Mais 1 GW d'ENRi n'a en fait rien à voir avec 1 GW de puissance pilotable, car sa capacité à être mobilisé lors des situations de tension du système électrique n'est pas du tout garantie.

Cette tendance qui consiste à vouloir se débarrasser tout à la fois du nucléaire et des sources d'énergie fossiles, nous la devons à l'écologie politique diffusée par des partis et des ONG très efficaces dans leur communication. Elle part de bons sentiments, mais est plutôt irréaliste. Est-ce qu'on a les moyens de se passer des deux à la fois? C'est un objectif qui est du domaine du rêve, absolument impossible à tenir dans de brefs délais.

Le principe de réalité veut que nous n'avons pas aujourd'hui les moyens économiques, ni technologiques, ni politiques de nous passer des énergies fossiles dans un avenir proche. Cela ne veut pas dire qu'il ne faut pas tendre vers leur suppression, mais il est indispensable de continuer à faire face aux besoins de production et de mobilité tels qu'ils existent actuellement, faute de quoi la mise en place des énergies renouvelables elles-mêmes serait compromise.

Comment chauffer en hiver des centaines de millions de logements? Comment produire par an 1,6 milliard de tonnes d'acier, 4,6 milliards de tonnes de ciment et 180 millions de tonnes d'ammoniac? L'industrie n'a pas aujourd'hui de solutions réalistes et viables et n'en aura pas, au mieux, avant dix à quinze ans. Nous n'avons pas aujourd'hui de technologies pour remplacer les carburants fossiles dans le transport maritime, ni dans le transport aérien...

Que faire donc ?

Jean-Marc Jancovici : *« D'abord, je dirais, passer du temps à bien comprendre le problème ! Ensuite, arrêter demain matin le soutien au solaire et à l'éolien et réorienter les quelques milliards d'euros qui y sont consacrés chaque année dans des mesures vraiment efficaces: aider les ménages modestes à passer à la pompe à chaleur, à isoler, à acquérir des voitures consommant très peu tout en obligeant les constructeurs à en faire, à faire des pistes cyclables et de l'agriculture moins émissive, etc.. »*

C'est, pensons-nous, la voie de la sagesse.