

Le mix énergétique

Son évolution depuis deux siècles

Produire de la chaleur ou du travail, faire de la lumière, se déplacer, ces actions ont besoin d'énergie.

Michel
BUFFEREAU
Promo 60



Pendant des millénaires, l'humanité a lentement progressé. Il y a un peu plus de deux siècles, la situation était encore la suivante :

La combustion du bois était utilisée pour produire de la chaleur avec les conséquences que l'on connaît en matière de déforestation.

L'homme et l'animal étaient largement utilisés pour leur force, bien faible. Moulins à eau et à vent fournissaient un complément bien utile, mais très localisé et de puissance limitée.

Pour un peu de lumière : feu dans l'âtre, chandelles et, pour les plus aisés, les bougies.

Quant aux déplacements, on allait le plus souvent à pied, même si la

traction animale était bien utilisée ainsi que la marine fluviale et maritime, soit à force de rame, donc de bras, soit à l'aide du vent, incertain dans sa force et sa direction.

Tout change, non pas avec le charbon de terre, qui était connu, mais avec l'apparition de la machine à vapeur, puis de la locomotive. La machine à vapeur développe une puissance inconnue jusqu'alors. Elle la fournit aux pompes pour assécher les mines et en permettre l'exploitation. La locomotive apporte le charbon là où est le besoin. La marine à voile laisse peu à peu la place à la marine à vapeur. Marchandises et voyageurs bénéficient du développement d'un réseau de voies ferrées avec de ce fait une plus large clientèle.

L'invention du gaz à l'eau conduit à créer des réseaux de distribution au moins dans certaines villes et pour certains immeubles.

Deux autres inventions viennent modifier le paysage à la fin du XIX^e siècle. Il s'agit d'une part du moteur à combustion interne, qui utilise le pétrole, et d'autre part de la lampe à filament et de l'électricité. Pour le pétrole, tout a commencé avec son usage comme lubrifiant et pour alimenter les lampes à pétrole bien utiles pour les milieux ruraux, loin des réseaux gaziers. L'électricité était connue, mais on ne savait pas en produire de façon importante. Tout change avec la dynamo et les chutes d'eau qui l'entraînent. La première grande application est la production de l'aluminium. Un peu plus tard la dynamo, puis l'alternateur sont

entraînés par une machine à vapeur, avant que l'on passe à la centrale thermique.

Le moteur à combustion avec son réservoir de pétrole est relativement léger. Ils permettent un déplacement autonome, d'où les véhicules automobiles et bientôt l'avion, chose inattendue. Tout comme va l'être la radio et notamment sa diffusion d'informations.

Tout est en place pour chauffer, éclairer, travailler et se déplacer. Deux énergies primaires (charbon et pétrole) et une énergie secondaire, puisqu'il faut la produire, sont en lice. Chacune pouvant plus ou moins répondre aux besoins. Les maîtres mots sont alors coût et facilité d'emploi. Ainsi, dans les usines, on voit peu à peu disparaître la machine à vapeur, qui fournissait l'énergie mécanique aux postes de travail via des courroies de transmission qui descendaient du plafond, au profit d'un moteur électrique dédié à chaque poste de travail. L'omnibus tiré par des chevaux disparaît pour être remplacé par des autobus (pétrole) ou des tramways (électricité). Ces derniers ne suffisent pas au transport de nombreux voyageurs dans les grandes villes. Il faut des trains. À la voie de surface, on préfère vite la voie souterraine. La fumée et la vapeur de la locomotive sont mal appréciées dans les tunnels. C'est gagné pour la traction électrique, même si c'est à partir du charbon que l'électricité est produite.

J'ai en mémoire une image d'un ouvrage sur l'histoire du métropolitain parisien. Devant l'Opéra de Paris passe sur une voie surélevée un train tracté par une locomotive crachant sa fumée. C'était un projet !

On avait assez largement développé les lignes secondaires pour, comme l'on dit, « désenclaver » les territoires. Mais on ne saurait installer des voies ferrées partout. Peu à peu ces lignes disparaissent au profit des autobus pour les passagers et des camions pour les marchandises. Ils bénéficient d'un réseau routier beaucoup plus étendu (et dont le coût n'est pas supporté par le transporteur). Pour rester dans le transport, rappelons que dès



les années 1930 apparaissent les premiers trains à traction électrique et les premiers auto trains mus par un moteur diesel. En milieu rural, l'extension du réseau électrique rend caduc la lampe à pétrole. Les salons des arts ménagers font connaître les premiers fers à repasser électriques, les réfrigérateurs, les aspirateurs, les cireuses et décapeuses de parquets.

Le progrès est en marche. On est à la veille de la Seconde Guerre mondiale. Il faudra attendre la fin de ce conflit pour que reprennent la concurrence entre les trois énergies et différents développements.

Dans un premier temps, l'accent reste mis sur le charbon pour produire l'électricité dont tout le monde a besoin. En parallèle, la construction des barrages hydroélectriques se poursuit. Bientôt, le gaz à l'eau est remplacé par le gaz de Lacq (gaz naturel). On change les brûleurs des réchauds à gaz. Les gazomètres et les usines à gaz disparaissent. Le charbon que l'on montait dans les étages et les cendres à mettre à la poubelle deviennent de l'histoire ancienne. On se chauffe au gaz, au pétrole, à l'électricité. Le chauffage central prend de l'essor dans les maisons individuelles. Il passera du charbon au pétrole, puis au gaz naturel. Les lignes ferroviaires sont électrifiées, d'autres ont des locomotives « diesel-électrique ». Le transport par avion devient peu à peu plus ordinaire. Déjà depuis

assez longtemps la marine avait remplacé les chaudières alimentées par du charbon par des moteurs diesel. Plus de soutiers chargeant à longueur de temps les foyers des chaudières. Le pétrole devenu plus abondant et facile d'emploi remplace le charbon pour les nouvelles centrales électriques. Qu'il s'agisse d'essence ou de diesel la voiture en fait la base de son large développement.

Tout semble aller bien jusqu'au moment où le coût des produits pétroliers change d'ordre de grandeur. Si le prix de l'énergie reste un facteur important, un nouveau maître mot apparaît : l'indépendance ou la contrainte géopolitique. Un programme d'équipement dit électronucléaire est lancé. Ce n'était pas totalement nouveau puisque plusieurs centrales de cette technique étaient déjà en service.

N'avait-on pas dit à Tignes, devant les travaux du nouveau barrage, pourquoi déplacer le village pour ce nouvel équipement alors que demain l'atome fournira toute l'électricité dont on aura besoin !

Le programme est ambitieux. Il fait appel à une technologie dont il a fallu acquérir la licence. Son développement suit la croissance de la demande en électricité et les mises hors service des centrales thermiques à flamme (charbon et fioul). Le charbon reste présent. Dans le milieu des années 1980 des subventions sont

encore accordées pour le substituer au fioul dans l'industrie. Les produits pétroliers restent incontournables dans les transports. Le chauffage électrique fait débat. L'électricité étant de plus en plus d'origine nucléaire.

Une petite anecdote. En mission à Belgrade (à l'époque de l'ancienne Yougoslavie), avec le directeur de la DGEMP (Direction Générale de l'énergie et des matières premières) un soir, dans les rues, je ressens une sensation bizarre. Des picotements dans le nez ! Cela me rappelait vaguement quelque chose. C'était la même sensation à Paris dans les années 1940 à 1950. On brûlait du mauvais charbon. Depuis les charbons sont sélectionnés pour leur teneur en soufre. Ce n'était pas le cas à Belgrade où l'on consommait du lignite bas de gamme pour son coût plus accessible.

Passons quelques décennies pour arriver à l'époque actuelle. Un nouveau critère est apparu : l'émission de gaz à effet de serre ou l'influence sur l'évolution du climat. La combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel dégage du gaz carbonique (dioxyde de carbone CO_2). Haro sur les combustibles fossiles d'autant que la ressource ne peut que s'épuiser. Une petite nuance, le charbon ce n'est que du carbone, donc le produit dont la combustion ne dégage que du CO_2 . Les produits pétroliers contiennent un peu d'hydrogène, d'où la formation d'eau. C'est le gaz naturel (méthane CH_4) qui s'en sort le mieux dans la comparaison. Même s'il y a toujours du gaz carbonique. Il faut des ressources nouvelles « propres », sachant que les critères précédents n'ont pas disparu.

Revue de détails

Le **charbon** n'est plus extrait en France. Les dernières mines ont fermé en 1996. Avant d'être un combustible, c'est une matière première dans la métallurgie (réduction des oxydes de fer). Mais en même temps, sa cokéfaction préalable et cette réduction produisent du CO_2 . Il reste en France deux sites où l'on produit du fer : Dunkerque et Fos sur mer. Minerai et charbon arrivent par transport maritime. Le charbon n'est plus utilisé dans les transports, sauf pour encore

quelques locomotives de trains touristiques. Quatre centrales électriques sont encore plus ou moins en activité. Seule celle de Cordemais en Bretagne semble devoir l'être encore pendant quelques années. Le chauffage par le charbon a pratiquement disparu, sauf dans certains réseaux de chaleur. Il est encore présent dans l'industrie (celle subventionnée jadis !?).

Le **pétrole** est la matière première de l'industrie pétrochimique. C'est le produit de base pour les transports aérien, maritime et routier (et agricole). Par contre les dernières centrales fonctionnant au fioul sont en cours de déconstruction. Nombreuses sont encore les installations de chauffage utilisant ce produit dans le secteur industriel, agroalimentaire ou domestique.

Le **gaz naturel** (méthane) est la matière première dans l'élaboration des engrais azotés, encore qu'ils soient plutôt produits dans les pays qui extraient ce gaz de leur sous-sol. C'est aussi le produit de départ pour l'obtention de l'hydrogène (ce qui produit du CO_2). Les dernières centrales fonctionnant au gaz ont été arrêtées pour des questions de rentabilité. Le rôle du gaz dans les transports est marginal, même si on envisage son emploi en remplacement du fioul dans certains navires de croisière (réduction de l'émission de fumée dans les ports). C'est aujourd'hui encore le produit de choix pour tout ce qui concerne le chauffage industriel ou domestique grâce à un important réseau de distribution ou de citernes.

En France, on extrait un peu de pétrole sur deux sites (Pyrénées Atlantique et Île-de-France) pour un



peu moins de 1 % des besoins. Le gisement de gaz naturel est épuisé et n'a pas eu de remplaçant. Des considérations géologiques conduisent à estimer que des réserves de pétrole et de gaz naturel pourraient se trouver dans certaines parties du sous-sol national. Une loi interdit toute recherche dans ce domaine.

L'**hydroélectricité** est une ressource bien connue. La capacité de production correspond à environ 15 % des besoins actuels. Il paraît difficile de l'augmenter significativement. Les sites adéquats sont pratiquement tous équipés. L'acceptation de nouveaux sites éventuels paraît peu probable. La production suit des caractéristiques très différentes. À l'usine marée motrice de la Rance, elle dépend de la marée (haute et basse) et de sa hauteur. C'est une production dite intermittente, même si avec les tables de marée, on peut la prévoir. Avec les barrages au fil de l'eau, la production est continue, sauf en cas de sécheresse. Avec les barrages réservoirs, la production est continue si les vannes sont ouvertes, ou contrôlée si les vannes ne sont ouvertes qu'en fonction des besoins prévisibles. Il a été envisagé d'utiliser les courants marins (hydrolienne) et l'énergie de la houle, sans grand succès pour l'instant.

La quantité d'**énergie solaire** reçue en un lieu est liée à la position géographique et bien évidemment à la durée de l'ensoleillement (nuage ou pas nuage, nuit ou jour). On a typiquement une source intermittente. Que capte-t-on et comment passer de l'intermittence au continu ?

Le soleil, c'est de la chaleur. Un dispositif simple peut chauffer de l'eau. On peut stocker cette eau devenue chaude en vue de son emploi. C'est le cas des panneaux solaires pour l'eau sanitaire, voire en appoint du chauffage central. Ces dispositifs n'ont pas, en France, connu le même développement que dans certains pays. La concentration du rayonnement solaire par des miroirs permet d'atteindre une plus haute température. On en est resté à des prototypes.

Un peu de physique : le rayonnement solaire, c'est de l'énergie. Les photons transmettent leur énergie aux électrons. Ces deniers devenus

libres se déplacent. Un électron qui se déplace c'est un courant électrique. C'est ce phénomène qui est à la base des panneaux photovoltaïques. Leur développement, lent au départ, a pris une assez grande importance.

Sous le terme **géothermie**, on a d'une part un stockage de calories et d'autre part l'exploitation de la chaleur terrestre. La chaleur produite pendant les périodes chaudes peut être injectée dans le sol. En hiver les calories stockées sont reprises. C'est la base des pompes à chaleur. Si on économise de l'énergie, néanmoins on consomme de l'électricité. Il existe en sous-sol des nappes aquatiques dont la température est relativement élevée. Cette eau ramenée en surface peut alimenter un réseau de chaleur. C'est par exemple le cas sous une partie de la région parisienne où la nappe du Dogger est à une température de 60 à 90 °C. Après extraction des calories, cette eau doit être réinjectée dans le sol, car elle est très chargée en sels. Là encore, il faut consommer de l'électricité pour pomper puis réinjecter. En Alsace, une anomalie thermique fait qu'un massif souterrain est à une température supérieure à 100°C. Une installation expérimentale vise à produire de l'électricité en récupérant cette chaleur. Pour cela de l'eau est envoyée au travers de la roche chaude et remontée en surface. Mais il faut au préalable fracturer la roche pour que de l'eau la traverse. Cette fracturation engendre des microséismes (2 sur l'échelle de Richter) qui sont ressentis par la population. Dernier écho de ce projet (soutenu par les projets de recherche de l'UE), le niveau des séismes est passé à 3 ! L'industriel qui mène les travaux s'inquiète. Dans certains pays où il y a une forte activité volcanique, de l'eau est envoyée sur des roches très chaudes. La vapeur obtenue sert à produire de l'électricité.

Hydroélectricité, énergie solaire, éolien et géothermie sont des énergies dites renouvelables. Elles produisent essentiellement de l'électricité et le plus souvent de façon intermittente.

La **biomasse** s'en rapproche dans la mesure où il est considéré que le CO₂ dégagé est repris par les plantes.



Notons que l'on dégage sur le champ alors que la biomasse se reconstitue lentement. Par biomasse, on entend tout ce qui provient du monde végétal. Il y a tout d'abord la combustion du bois, puis celle des déchets végétaux (paille, rafle de maïs, etc.). Des végétaux peuvent être transformés en (bio) carburants. La fermentation anaérobie de déchets végétaux (et domestiques) produit du méthane (biogaz). Enfin, des microorganismes sont susceptibles dans certaines conditions de produire des hydrocarbures. Le rendement n'est pas encore au niveau d'une réelle application. En revanche, des molécules à la base de diverses applications sont souvent obtenues, d'où l'intérêt maintenu pour ce type de procédé.

L'**incinération des déchets** domestiques reste répandue. Elle produit de la chaleur soit pour de l'électricité, soit pour alimenter des réseaux de chaleur. Du fait du tri préalable des déchets, le pouvoir calorifique du restant est faible, d'où l'emploi de combustibles fossiles pour « doper » la combustion.

On a évoqué plus haut l'**énergie nucléaire**. Elle est utilisée pour produire de l'électricité. La fission de l'isotope 235 de l'uranium dégage une

énergie considérable dans certaines conditions. La conséquence est la création d'une radioactivité artificielle de longue durée. La maîtrise de cette radioactivité est considérée par certains comme posant problème. Par ailleurs, le pourcentage de cette ressource dans la production globale d'électricité apparaît comme élevé par rapport à un bon équilibre entre les différentes ressources. Des directives gouvernementales ont fixé à terme un autre niveau qui est de 50 %. Il devrait donc rester un nombre important de centrales électronucléaires. La production de chaleur à différents niveaux de température a été un temps envisagée, mais n'a pas été développée.

On évoque de plus en plus souvent l'**hydrogène** quand on pense énergie. Cet élément n'existe pas à l'état naturel. Il faut le produire soit à partir du méthane, soit de l'eau, donc en dépensant de l'énergie. Décomposition thermique du méthane (gaz naturel) avec dégagement de CO₂, dont on ne veut plus, ou électrolyse de l'eau qui nécessite de l'électricité. L'hydrogène peut être utilisé pour produire de l'énergie par recombinaison avec de l'oxygène (de l'air) soit par combustion classique (turbine à gaz), soit dans une pile dite à combustible

(inverse de l'électrolyse) pour finalement produire de l'électricité pour diverses applications. L'hydrogène est stockable. Ce n'est pas le cas de l'électricité. D'où l'intérêt pour cet élément, indépendamment des considérations de coût et de facilité d'emploi.

Les grands secteurs consommateurs d'énergie

L'agriculture intervient pour une part assez faible dans la consommation globale d'énergie. Néanmoins il faut du pétrole pour tous les engins qui doivent se déplacer et du gaz (naturel) pour certaines opérations de séchage. Par contre la production de biogaz par quelques grandes installations fait du secteur un modeste producteur d'énergie, à quoi il faut ajouter les produits agricoles transformés en biocarburants.

L'industrie, même si la production de nombreux produits de base a été délocalisée, reste très utilisatrice de combustibles fossiles, pour un coût moindre et souvent plus aisé qu'avec de l'électricité. Quand il ne s'agit pas de matières premières comme on l'a vu plus haut. Une étude sur l'emploi de l'hydrogène pour réduire les oxydes de fer est en cours. Elle pose la question de la production de l'hydrogène à un coût acceptable. L'emploi de l'électricité est largement répandu (moteurs, fours, automates...).

Si le transport s'est éloigné du charbon dans le ferroviaire, il reste

fortement dépendant du pétrole pour les secteurs routier, aérien, maritime et fluvial. Là encore l'hydrogène pourrait, dans certains cas, avoir un intérêt pour autant que son coût soit acceptable. Par ailleurs, se pose la question de la création d'un réseau de distribution. Beaucoup d'efforts sont engagés sur les batteries électriques embarquées, au moins pour les véhicules automobiles. Là encore, la question de la production de l'électricité apparaît à nouveau. Celle de la facilité d'emploi (temps de rechargement des batteries) n'est pas totalement résolue. Par contre, on bénéficie de la très large extension du réseau électrique.

Le secteur de l'habitat et plus largement domestique (services divers) a déjà connu sa transition énergétique avec l'abandon du charbon. Déjà il était souvent passé du pétrole au gaz naturel pour le chauffage. Il la poursuit avec la généralisation de l'emploi de l'électricité pour les constructions nouvelles. Compte tenu de taux de renouvellement de l'immobilier et du coût de transformation des installations, il s'agit plutôt de parler d'économie d'énergie. Pour laquelle il y a également un coût. Un effort a déjà été fait sur le niveau de consommation de nombre d'équipements. Le développement du numérique vient en compensation.

L'habitat est soit vertical et dense, soit horizontal et plus ou moins

dispersé. Dans le premier cas la perte d'énergie est réduite, les déplacements facilités par des transports collectifs et la possible proximité des services. Ne parlons pas des réseaux. Dans le second, certes on peut installer des panneaux solaires pour l'eau sanitaire et éventuellement une petite installation photovoltaïque, mais la dispersion de l'habitat pose le problème des transports.

Ce n'est plus une question de transition énergétique, mais de choix de société (au moins pour l'urbain). Cela devait être mentionné !

Toutes les ressources sont exploitées dans la mesure où on y a intérêt. Cela conduit à ce que certains en mettent en avant sans analyse globale ou sous l'influence de considérations particulières.

En l'état actuel, l'économie de consommation des ressources est une réponse générale aux critères : coût, facilité d'emploi et indépendance. Elle l'est également pour ce qui concerne l'effet sur le climat, mais c'est d'une autre nature. Un État vertueux reste à cet égard dépendant du comportement des autres États. Cette réponse est de ce fait biaisée.

La transition énergétique avec forte réduction de l'emploi des combustibles fossiles conduit à une plus large demande d'électricité (même en faisant des économies). Se pose alors une nouvelle question (ou un nouveau critère) : celle du choix des moyens de production et surtout de leur acceptation. On en vient à parler de transition écologique. Comme pour l'habitat, on aborde un autre domaine qui vient polluer toute réflexion sur la transition énergétique. Pour être complet, il faudrait également prendre en compte la situation des pays selon la géographie, leur niveau de développement, leur capacité à engager les investissements inhérents à leur évolution vers un meilleur équilibre entre tous les critères qui viennent d'être évoqués. On est là en plein dans la question de l'emploi des combustibles fossiles et l'effet sur le climat. ■

