

Infrastructures de l'énergie

Quand on évoque aujourd'hui la question des infrastructures de l'énergie, tout le monde, en Europe, a principalement dans la tête le débat sur les moyens de production d'électricité et celui sur les réseaux gaziers ou surtout électriques :

- avec l'émergence de moyens de production de puissance électrique unitaire modeste, dans la gamme des centaines de kilowatts ou des mégawatts (la cogénération électricité chaleur, les éoliennes, les piles à combustibles au pied des immeubles), voire du kilowatt (pour le photovoltaïque sur le toit des maisons), qui, associés aux outils modernes de gestion informatique et de communication, deviennent compétitifs avec les moyens de production de centaines ou de milliers de MW qui ont marqué la fin du vingtième siècle,
- dans un contexte de dérégulation intense qui soumet les producteurs à une concurrence souvent très nouvelle pour eux sur un marché volatile et où le réseau qui protégeait le monopole de droit ou de fait des grandes sociétés nationales de distribution devient au contraire pour elles un cheval de Troie dans leur citadelle,
- avec, en arrière plan, les répercussions sociales, techniques, économiques et psychologiques des catastrophes naturelles récentes (les tempêtes en 1999, la canicule de cet été, la grande panne italienne de septembre), et celles de l'attentat du 11 septembre qui ont montré les limites et les fragilités des systèmes hypercentralisés.

Ce débat est bien sûr majeur pour l'avenir et nous y reviendrons.

Mais il relègue au second plan deux points qui m'apparaissent comme au moins aussi importants , par ce qu'ils structurent pour des temps considérables nos paysages, nos modes de vie et notre environnement :

- l'amont et l'aval des différentes filières énergétiques , avec les traces souvent indélébiles que laissent dans la nature les installations minières elles même et les résidus miniers (par ex pour le charbon), avec le problème des déchets nucléaires à très haute activité et très longue durée de vie issus du nucléaire civil,
- et peut être surtout l'aménagement du territoire, l'urbanisme, le logement, l'organisation de la production industrielle et les réseaux de transport dont on oublie bien souvent qu'ils constituent les déterminants principaux des modes de consommation d'énergie des sociétés.

C'est d'abord ce dernier sujet que je souhaite aborder devant vous. Il me semble en effet que ramener la question des infrastructures de l'énergie, comme on le fait souvent, au seul sujet de celles nécessaires à la production et à la distribution des énergies, de réseau ou non, serait terriblement réducteur. L'aborder ainsi c'est en effet décider, sans en avoir l'air, que les quantités et les qualités d'énergie nécessaires à une société dans un état déterminé de son développement sont une donnée intangible à partir de laquelle il ne resterait qu'à se poser une série de questions sur le « comment » et sur le « où, et à partir de quelles infrastructures » fournir cette énergie.

En effet, c'est bien en amont de la production et de la distribution sur le territoire des produits ou vecteurs énergétiques que se jouent les questions de l'énergie. Donnons en quelques exemples concrets :

- Les besoins d'énergie de transport d'une ville construite sur le modèle américain, avec sa très faible densité de construction, ses réseaux autoroutiers urbains, ses

centres commerciaux déconcentrés, et ceux de certaines villes de la vieille Europe, avec leur centre ville piétonnier, leurs immeubles collectifs et leurs transports en commun sont très différents (voir figure1) : un facteur 6 d'écart dans les besoins d'énergie quotidienne de transport individuel d'un habitant de Phoenix ou de Los Angeles et d'un habitant de Londres ou de Paris, voilà la conséquence majeure de choix initiaux d'urbanisme. Et ces choix sont très largement irréversibles. Ils engagent les consommations d'énergie pour des décennies voire des siècles.

- Les besoins d'énergie de fonctionnement quotidien des tours de prestige dont s'enorgueillissent les grandes capitales des pays riches mais aussi des pays les plus pauvres, avec leurs immenses surfaces vitrées, leurs centrales de chauffe et leurs circuits de climatisation, et ceux d'un temple prestigieux du commerce du siècle dernier, comme les galeries Lafayette à Paris ou Harold's à Londres sont dans un rapport 1 à 4 ou 5.

- Le contenu en énergie d'un kg de haricots verts sur un marché genevois ,varie dans un facteur 1 à 20 ou 30 selon qu'il provient des maraîchers de la région, du Sud de la France par train , de l'Espagne par camion ou du Burkina Fasso par avion.

- Les besoins d'énergie d'une mère de famille emmenant ses moutards à l'école dans son 4*4 climatisé dans les encombrements du matin pour leur éviter d'être écrasés par une autre mère de famille conduisant les siens aussi en voiture et ceux de celle qui les conduit à pied ou en métro à l'école voisine sont aussi dans un rapport de 10 à l'infini.

Au delà des choix individuels , c'est bien l'aménagement et l'organisation de la ville et des citoyens qui l'habitent, quartier piétonnier ou pas, transports collectifs de proximité ou pas qui jouent un rôle fondamental dans les dépenses énergétiques.

- Les besoins énergétiques d'une maison construite aux normes énergétiques d'aujourd'hui sont 3 fois plus faibles que ceux de la même construite dans les années 70. Et, en tout cas en France, la durée de vie des habitations est de l'ordre de 150 ans et non pas de 50 ou 60 comme on l'imagine généralement. C'est ainsi qu'en France le parc de logements augmente de quelques 200 000 logements par an et que seuls 20 000 logements sortent de ce parc par destruction sur un stock de près de 30 millions de logements existants. La figure 2 qui exprime les conséquences de diverses politiques de maîtrise de l'énergie dans le parc de logements français illustre cette énorme inertie.

- Les besoins d'énergie associés à différents modes de transport sont également dans des rapports importants comme le montre le tableau ci-dessous :

| Consommation passagers (gep/Passager.km) | | Consommation fret (Gep/tonne.km) | |
|---|---------|-------------------------------------|---------|
| Véhicules particuliers* | 36 à 40 | Maxicode route | 17 |
| Cars | 6 à 9 | Camions > 3 tonnes | 82 |
| TGV | 15 à 17 | Utilitaires < 3 tonnes | 380 |
| Trains rapides | 19 à 22 | SNCF trains entiers | 9 à 11 |
| Services régionaux | 30 à 36 | Transport combiné | 12 à 15 |
| RATP | 21 à 28 | Transport maritime | 1 à 5 |
| Aérien | 43 | Transport fluvial | 9 à 13 |
| *Taux d'occupation : 1,6 passager | | Transport aérien | 420 |

Des rapports 2 ou 3 pour les transports de passagers des rapports supérieurs à 10 pour les transports de marchandises.

Et comme ces infrastructures lourdes de transport, dont les coûts initiaux sont élevés, sont toujours construites pour longtemps, généralement plus de 50 ans, les conséquences énergétiques cumulées en sont évidemment très importantes. La figure 3 suivante illustre ce point et montre bien l'importance relative du progrès technique et de la nature des infrastructures. Tout cela sans compter qu'à leur tour ces infrastructures sont très structurantes pour l'urbanisme futur. Une autoroute avec une bretelle tous les 20 kms a des conséquences très différentes sur les futures implantations humaines de celles d'un TGV avec des arrêts tous les 200 kms, d'un train régional desservant tous les gros bourgs, y compris pour les marchandises.

Je m'arrête dans ces exemples que l'on pourrait multiplier à l'infini, pour insister sur le fait que la nature des besoins, les quantités d'énergie nécessaires au fonctionnement d'une société, dépendent au premier chef du choix de nos infrastructures et de nos choix de vie. Et ces grands choix, conscients ou non, volontaires ou subis, d'organisation de l'espace, de géographie industrielle et commerciale, de bassins d'emploi, de réseaux de transport et de communication, commandent et pour des temps considérables nos besoins d'énergie, surdéterminent la nature des moyens de production nécessaires comme leur distribution spatiale.

Venons en à l'amont et l'aval des filières énergétiques.

L'amont minier des énergies fossiles, de l'énergie nucléaire, de certaines des énergies renouvelables comme les barrages hydroélectriques, impose la mise en place d'infrastructures lourdes, souvent très onéreuses, dont la pérennité dépasse plusieurs décennies, et dont les conséquences sur les paysages, les implantations humaines et l'environnement sont presque irréversibles à l'échelle humaine : le barrage d'Assouan ou des Trois Gorges, et plus proche de nous, le fameux exemple du barrage de Tignes, avec son village englouti, les dizaines de milliers de km² de

terre arables détournés de leur usage originel, au profit de l'exploitation des mines à ciel ouvert des pays d'Europe de l'Est en sont des exemples parmi d'autres. Mais l'amont ne s'arrête pas là puisqu'il faut amener les matières premières brutes jusqu'à leur points de première transformation pour les rendre utilisables. Tout cela exige encore des investissements très lourds, des ports pour évacuer le charbon, ou accueillir des méthaniers, des oléoducs et des gazoducs, qui non seulement entrent pour une part très importante dans le coût final de l'énergie distribuée mais sont des éléments terriblement structurants du paysage énergétique .

J'en ai pris particulièrement conscience à l'occasion du rapport sur le nucléaire que nous avons fait au Premier Ministre Lionel Jospin avec JM Charpin et René Pellat il y a trois ans. En comparant différentes stratégies pour l'avenir électrique de la France avec des options à plus ou moins grande consommation d'électricité et des options très contrastées de production (tout nucléaire tout gaz etc) il est apparu très clairement que la discrimination économique ne se faisait pas tant sur les outils de production que sur la plus ou moins grande consommation d'électricité et cela du fait des investissements supplémentaires d'infrastructure engendrés par l'augmentation de consommation, en amont et en aval des moyens de production électrique (gazoducs, etc.). En fait ce n'est pas très étonnant puisque dans les 10 centimes d'euros environ que nous payons pour l'électricité domestique il y en a à peine 4 qui sont le fait de la production d'électricité (investissement , combustibles et exploitation), le reste étant très majoritairement le fait des infrastructures entourant l'outil de production. C'est comme cela qu'on a pu montrer que le coût du kWh électrique rendu chez l'utilisateur était de 5 à 10% moins cher dans les scénarios économes en électricité et ceci quelque soit le mix de production .

Les grands réseaux de transport de gaz par exemple, qui représentent des investissements considérables , (de l'ordre de 5 à 20 euros par kWh annuel transporté pour le renforcement d'un réseau gazier et les installations de stockage,

selon la durée d'appel et la taille des unités de production), ont une vocation de pérennité qui dépasse souvent celle des sources de gaz qui les alimentent. Cela veut dire que si le gaz vient à se raréfier on aura une forte incitation à trouver un substitut gazeux et non méthanique (par ex l'hydrogène) pour amortir au mieux le très lourd investissement consenti . On est là dans une situation analogue à celle des réseaux de transport où l'investissement initial est surdéterminant par rapport aux évolutions techniques des outils de production.

Voilà donc encore une série d'éléments très structurants de l'avenir énergétique d'un pays.

En ce qui concerne l'aval des filières énergétiques et en dehors des irréversibilités induites sur l'environnement du type de celles liées aux mines et aux barrages hydrauliques par ex, je voudrais consacrer quelques instants au problème de l'aval du nucléaire, tant les inerties et les irréversibilités sont importantes dans ce domaine.

On sait bien d'une part que la durée de vie des déchets nucléaires est de plusieurs dizaines de milliers d'années et que d'autre part, les délais imposés par le démantèlement des outils de production nucléaire , de l'ordre d'une cinquantaine d'années, nous renvoient, quelques soient les décisions prises, au milieu du siècle prochain.

Mais c'est d'un autre point beaucoup moins connu que je voudrais évoquer et qui concerne les déchets, question qui préoccupe légitimement les européens . Il provient aussi des réflexions que nous avons conduites pour Lionel Jospin. L'une des questions essentielles était bien entendu la question des déchets à très haute activité et très longue durée de vie dont nous avons montré que l'importance ne changeait guère avec le retraitement. En 2050, retraitement ou pas, on se retrouve

en effet avec des quantités de plutonium et actinides mineurs inclus dans les combustibles usés (UOX et MOX) du même ordre (entre 500 et 650 Tonnes).

Devant ce constat affligeant et qui remettait gravement en cause le discours officiel sur l'efficacité du retraitement du point de vue des déchets , nous avons étudié l'influence de technologies nouvelles, en rupture, que proposent les chercheurs, pour résoudre significativement cette question du stock de déchets dangereux. Et les scientifiques de nous proposer plusieurs solutions censées améliorer considérablement le bilan déchets d'un parc nucléaire (nouveaux combustibles, réacteurs rapides etc.).

Nous avons donc étudié ce qui se passerait en cas de réussite de ces diverses recherches, en introduisant les outils correspondants dans le parc nucléaire français futur à un rythme compatible avec leur maturation et les besoins d'électricité. Et c'est là que nous avons pris conscience de l'énorme inertie du système. Si l'on compare les résultats en 2110 d'une stratégie de non renouvellement du parc français à sa fin de vie (vers 2045) et une stratégie de poursuite avec des solutions technologiques conçues spécifiquement pour améliorer le bilan comme par exemple des réacteurs à neutrons rapides et haute température de seconde génération (qu'on n'attend pas avant 2035 ou 2040) on trouve les bilans cumulés suivants : 365 tonnes de déchets pour la première solution, 510 pour la seconde. Malgré l'introduction de ces réacteurs capables de brûler, au moins partiellement les déchets de la génération précédente, le bilan global continue donc à se dégrader. Pour revenir avec cette solution à un bilan comparable à celui du scénario d'extinction du nucléaire en 2050, il faut attendre au moins 2130.

Ces quelques chiffres montrent l'extraordinaire inertie du système nucléaire et le poids de l'existant dans l'avenir lointain. Ils montrent aussi la très grande difficulté des décisions à prendre puisqu'il s'agit d'un double pari de très long terme : le pari qu'au bout de 30 ans les chercheurs auront bien réussi à mettre au point la

technologie prévue à des coûts vraisemblables et sans effet inattendu sur l'environnement. Si ce premier pari est gagné il faudra attendre encore 100 ans de pérennité nucléaire pour commencer à en recueillir les fruits quant aux déchets. On voit bien la grande difficulté d'un gouvernement devant de telles décisions qui supposent des anticipations tout à fait inusuelles aux politiques, d'autant que les éléments dont je viens de vous parler sont soigneusement masqués par les promoteurs de la filière nucléaire.

Nous sommes encore confrontés là à un exemple d'irréversibilité majeure que peuvent entraîner des choix initiaux d'infrastructure de production, non pas tant par eux mêmes que par leurs diverses conséquences.

Venons en enfin aux outils même de production énergétique et aux problèmes de réseaux de transport et distribution. En effet le progrès technique risque fort de remettre en question l'évolution des 50 dernières années caractérisées par le triomphe des très grands réseaux maillés et des outils de production de très grande puissance et laisse entrevoir, en particulier pour les pays qui ne sont pas encore équipés de ces grands réseaux mais pas seulement pour eux, de nouvelles formules techniques à caractère plus local .

Il repose tout un ensemble de questions sur les mérites comparés de la centralisation et de la décentralisation, de l'effet de taille et de l'effet de série, mais aussi des questions sociales et politiques sur le service public et les « lois du marché », l'autonomie des territoires et l'emploi, la sécurité de fourniture, la tarification au coût moyen ou marginal local ou la péréquation, la capacité d'anticipation des acteurs, etc.

Du point de vue technologique et organisationnel de quoi s'agit il ?

De l'émergence d'appareils de production d'électricité comme les turbines à gaz, les piles à combustibles, les éoliennes ou le photovoltaïque par exemple, dont les rendements et les coûts de production varient peu dans de larges gammes de

puissance ; on peut donc en imaginer une implantation décentralisée, et donc à la fois l'utilisation de ressources locales (par exemple renouvelables mais aussi des petits gisements fossiles) et pour certaines de ces technologies, un double usage, d'électricité et de chaleur, ce qu'on appelle la cogénération . L'apparition de ces technologies dont l'effet de série est susceptible d'assurer la compétitivité économique change évidemment la donne puisqu'elle s'oppose à la croissance continue des tailles unitaires des moyens de production d'électricité qui a caractérisé la deuxième moitié du siècle dernier et qui trouve son point culminant dans le dernier projet de centrale nucléaire d'Areva, de 1600 MW. Souvenons nous que la puissance des centrales thermiques de l'après seconde guerre mondiale était de 50 MW, trente fois moins qu'aujourd'hui. Bien évidemment les réseaux électriques adaptés à ces moyens de production qui fonctionnent à sens unique (de l'amont , la production centralisée, jusqu'au consommateur final) seraient également complètement remis en cause par l'apparition de milliers ou de centaines de milliers de points sources dont la mise en réseau pose des problèmes nouveaux.

Mais aussi de l'émergence de moyens de gestion des réseaux complètement nouveaux qu'autorisent les énormes progrès de l'informatique.

Une première solution d'utilisation de ces moyens de production d'énergie et de chaleur est leur usage autarcique. Mais une telle solution, envisageable sur le plan technique, impose, soit un surdimensionnement important des outils de production, soit l'implantation locale de moyens de stockage de l'énergie primaire ou des vecteurs obtenus (électricité et chaleur) pour parer à la fois aux aléas de fourniture (intermittence des énergies renouvelables) et aux fluctuations de besoins, ce qui risque d'obérer largement la compétitivité économique de ces solutions.

La mutualisation que permet un réseau maillé, aussi bien au niveau des ressources que des usages est évidemment un facteur important de réduction potentielle des coûts. Si on entre dans cette logique, on peut partir dans deux directions :

- la première direction privilégie une mutualisation par l'amont ; c'est le cas d'un réseau de gaz naturel et de capacités de stockage réparties de ce gaz alimentant en tout point du territoire des moyens de production d'électricité et de chaleur à la dimension souhaitée en fonction des usages. On peut imaginer une telle solution avec de turbines à gaz et des piles à combustibles dont la taille unitaire peut s'adapter aux usages d'une collectivité locale d'une industrie, d'un immeuble ou même d'un pavillon. C'est la solution que préconisent d'ailleurs les défenseurs inconditionnels de l'hydrogène qui imaginent celui ci produit à partir d'unités très diverses utilisant des sources énergétiques elles même très diversifiées, avec un réseau de transport stockage et de distribution de cet hydrogène copié sur celui que nous connaissons pour le gaz naturel. Le réseau devient alors l'élément le plus structurant du système hydrogène, ce qui remet évidemment complètement en cause le discours d'un Jérémie Rifkins, ardent défenseur de l'hydrogène, sur le caractère décentralisé égalitaire et non monopolistique de ce type de système énergétique.

- La seconde solution privilégie une mutualisation par « l'aval », après la production d'électricité par un réseau électrique interconnectant chacun des producteurs-consommateurs d'électricité. Dans le cas de la cogénération, c'est alors le besoin de chaleur au niveau local qui dimensionne l'installation, l'électricité cogénérée pouvant être utilisée localement ou exportée vers d'autres utilisateurs. Un grand nombre d'utilisateurs deviennent alors producteurs majoritaires pour leurs propres besoins et utilisent le réseau, marginalement, pour assurer l'adaptation de leur capacité de production à leurs besoins. Les échanges, au lieu d'être unilatéraux deviennent multilatéraux.

Bien évidemment ces différents systèmes peuvent cohabiter , réseaux amont et aval eux même plus ou moins centralisés. Il y a là tout une série de connaissances à acquérir pour mieux comprendre les avantages économiques des différents systèmes mais aussi pour mieux appréhender les risques systémiques associés aux différentes solutions, en particulier leur sensibilité aux catastrophes naturelles, aux risques techniques génériques, aux aléas climatiques et aux entreprises terroristes. Il me semble aussi important de considérer ces questions avec une attention toute particulière aux problèmes d'irréversibilité qui sont monnaie courante dans les systèmes énergétiques comme nous avons pu le constater dans le début de mon exposé.

Voilà, un peu en vrac, les réflexions qu'ont engendré chez moi le sujet du séminaire qui va se dérouler ici dans les semaines qui viennent sur les « infrastructures de l'énergie.

Vous pourrez constater qu'à travers les exemples que j'ai essayé d'aborder, j'ai beaucoup insisté sur l'aspect temporel et spatial des questions d'infrastructure des systèmes énergétiques tant elles me semblent déterminantes, probablement bien avant les considérations techniques et économiques qui sont généralement évoquées en priorité. J'insiste aussi sur la nécessité d'inclure dans l'analyse « infrastructures de l'énergie » l'ensemble des considérations concernant les « infrastructures de la demande d'énergie » sur un pied d'égalité avec les « infrastructures de la production d'énergie ».

Plus généralement quand on évoque en effet les problèmes que pose l'énergie en termes d'infrastructures, avec bien entendu en tête des préoccupations qui dépassent largement la technique, en termes de droit d'accès à l'énergie, d'équité sociale, d'équilibre Nord-sud, d'économie, d'environnement local et global, bref, de développement durable, je plaide pour qu'on n'oublie pas l'essentiel au profit de

l'accessoire, qu'on ne s'enferme pas dans les schémas culturels souvent inadaptés qu'on nous « vend » comme le gage de la modernité et de l'intégration dans une mondialisation incontournable, définitivement gouvernée par les lois incontournables d'une économie de marché qui a fait depuis longtemps la preuve de son incapacité congénitale à voir plus loin que le bout de son nez.

Ni la technique ni l'économie, toutes indispensables qu'elles puissent être, ne nous dédouanent d'une réflexion politique, sociale et culturelle autonome sur les questions d'infrastructures nécessaires à l'épanouissement humain . Souvenons nous en effet que l'énergie n'est qu'un moyen du développement et non une fin en soi. Souvenons aussi que si l'organisation de la production et de la distribution d'énergie ont un fort pouvoir structurant sur le développement des sociétés et l'équilibre des territoires, ce sont les grandes options d'aménagement, les concepts de ruralité et d'urbanisme, de ville et de campagne, d'organisation productive et de réseaux de communication, d'équilibre spatial et social des activités, de protection des paysages et de l'environnement qui sont déterminantes,.

Benjamin Dessus

Ingénieur et économiste

Président de l'association « Global Chance »