

L'ENERGIE DU PROCHAIN DEMI-SIECLE

MARCEL BOITEUX

Cet article de M. Boiteux résume les grandes lignes des travaux de la journée du colloque de Gif-sur-Yvette consacrée à l'énergie, son auteur ayant été président de cette journée dont le rapporteur général était M. Laigroz.

Les formes de l'énergie.

Les formes d'énergie appelées à tenir une place majeure au cours du prochain demi-siècle, sont les hydrocarbures d'abord, puis le nucléaire, les hydrocarbures continuant, d'ailleurs, à occuper une place notable à la fin de la période se situant entre 2000 et 2020 — avec toutes les réserves que ces prévisions à long terme impliquent évidemment.

L'intervention de l'énergie nucléaire, dont les disponibilités sont infinies, permettra d'éviter toute pénurie d'énergie aux générations futures. Car, même si l'on a de bonnes raisons de penser que les progrès de demain seront plus « immatériels » que par le passé, donc moins dévastateurs pour les ressources d'énergie, un problème quantitatif ne s'en posera pas moins dont on peut douter qu'il soit soluble à très long terme avec le seul recours aux réserves d'énergie fossile. L'énergie nucléaire est donc appelée, sans aucun doute, à prendre une place de plus en plus importante dans les consommations énergétiques. Ceci veut dire, par exemple, que le marché des usages thermiques sera de plus en plus largement conquis par l'électricité, et l'on vise là, notamment les chauffages domestiques.

Les pollutions.

La question a été posée de savoir dans quelle mesure cette évolution est de nature à ne pas entraîner des problèmes trop graves en matière de pollution. D'aucuns ont dit que l'énergie nucléaire avait l'immense mérite, par rapport aux énergies fossiles, de ne pas polluer l'atmosphère. Ce à quoi d'autres ont répondu qu'à défaut de polluer l'atmosphère, elle avait la redoutable propriété de produire des déchets radioactifs dont on ne s'est pas encore trop inquiété jusqu'ici, parce qu'il n'y en a pas beaucoup, mais qui soulèveront nécessairement un jour des difficultés, quand leur masse sera devenue notable.

Quelques vues futuristes ont été émises. Certains ont proposé d'expédier ces déchets radioactifs dans l'espace, sur des trajectoires de non-retour. D'autres ont imaginé qu'on pour-

rait peut-être se contenter de les déposer sur la surface cachée de la lune. A vue plus proche, l'enfouissement de ces déchets convenablement enrobés (et on fait des progrès d'année en année dans ce domaine) dans des cavités très profondes que l'énergie nucléaire elle-même peut d'ailleurs contribuer à créer pourrait constituer une solution commode.

En tout cas, les spécialistes de l'énergie nucléaire disent : « nous savons qu'il y a là un problème, et nous sommes certains que nous saurons le résoudre à temps ». Il est vrai que les défenseurs des hydrocarbures avancent de leur côté que le problème du soufre sera certainement résolu dans les dix années qui viennent. Mais, d'aucuns nous ont fait peur avec des oxydes de plomb ou autres.

Le problème de la pollution reste donc et restera un problème important. C'est la conséquence du fait que l'eau et l'air sont devenus depuis quelque temps des richesses économiques rares, ce qui exige des précautions et une politique coordonnée pour éviter que l'on abuse de notre atmosphère ou de nos mers.

Vers la miniaturisation des sources d'énergie ?

● Il est très important pour l'aménagement du territoire de savoir si l'on sera capable de construire, pour les usages courants, des petites installations de production d'énergie nucléaire, comme on envisage de le faire pour les satellites. Ce qu'on peut mettre dans un satellite, ne peut-on le mettre dans un appartement ou dans une chambre à coucher ?

Si l'on savait dominer cette technique, pourquoi ne pas imaginer, en effet, dans le prochain demi-siècle, de multiplier les petites centrales d'appartement qui nous libéreraient de la servitude des « toiles d'araignée » de fils électriques, et des réseaux de tubes que l'on fait courir en défonçant les campagnes et les chaussées ? Pourquoi ne pas imaginer aussi que le matin, comme le laitier nous apporte votre bouteille de lait et notre morceau de beurre, on nous apporterait notre ration de piles électriques pour la journée ? On serait ainsi libéré des problèmes du transport spécifique de l'énergie. Après examen, il apparaît que, pour les installations fixes de production d'énergie, les chances de la miniaturisation économique sont faibles — je dis bien « économique » — car il existe d'ores et déjà des sources autonomes de production : les piles électriques par exemple. Mais c'est là une solution extrêmement luxueuse. La pile électrique produit de l'énergie qui coûte, en gros, mille fois plus cher que celle du réseau.

Si la consommation globale d'énergie se développe rapidement — à un rythme voisin du doublement voisin en quinze ans dans les pays de la CEE — l'importance relative des différentes catégories de besoins ne change guère. Les consommations individuelles d'énergie absorbent à peu près un tiers du total (dont la moitié, en gros, va au seul chauffage des locaux) tandis que celles des entreprises mobilisent les deux autres tiers.

C'est pourquoi, finalement, elle est réservée à des usages extrêmement spécifiques : petits boîtiers ou transistors. Il en est de même pour les sources d'énergie nucléaire miniaturisées. S'il n'est pas exclu que l'on puisse alimenter ainsi des satellites, cette énergie coûtera mille fois ou dix mille fois plus cher que l'énergie que l'on sera capable de produire par ailleurs dans les grosses centrales. La conclusion a été unanime : c'est dans la voie des centrales de plus en plus grosses que l'on maîtrisera l'énergie nucléaire.

● En ce qui concerne les hydrocarbures, la question se pose de savoir s'ils sont susceptibles de soutenir un mouvement de miniaturisation. On connaît déjà le moteur à combustion directe : les piles. La pile thermo-électrique est-elle appelée à un certain avenir? Sans aucun doute, dans l'espace de cinquante ans, on peut raisonnablement espérer qu'il se passera quelque chose dans ce domaine. Mais, pour autant qu'on puisse en juger aujourd'hui, ces sources miniaturisées, moteur ou pile, qui ont sans doute un développement encore notable à espérer dans les pays sous-développés, ou peut-être dans certaines zones rurales à très faible densité, ne sauraient recevoir des applications importantes à l'échelle des besoins globaux.

Quant aux accumulateurs, on sait que, depuis plus d'un siècle, les techniciens cherchent désespérément l'accumulateur léger et bon marché. On ne l'a toujours pas trouvé. Car, si l'on sait faire des accumulateurs plus légers, ils ne sont certes pas bon marché. Mais les progrès qui sont faits dans les connaissances profondes de la matière, le mouvement des électrons, ceux également auxquels on est parvenu dans l'étude des piles thermo-électriques laissent aux techniciens l'espoir qu'on trouvera peut-être quelque chose d'intéressant au cours du prochain demi-siècle.

Ce « quelque chose » ne paraît pas appelé à révolutionner la production d'énergie dans les installations fixes. Par contre, il n'est pas exclu qu'il y ait des espoirs à nourrir du côté de l'accumulateur pour des installations mobiles. Mais en tout état de cause, cela ne saurait être que progressif, et les installations mobiles actuelles nous offrent déjà des solutions satisfaisantes avec, par exemple, le moteur à explosion ou la turbine à gaz : l'aménagement du territoire est ici peu sensible à ces innovations.

Nous sommes donc amenés à penser que l'essentiel des installations fixes, celles qui nous importent le plus pour l'aménagement du territoire, et, avec elles l'essentiel de la production, sera concentré dans des centres très importants.

Où seront situées les grosses centrales de production ?

● Parlons d'abord de l'énergie nucléaire. En ce qui concerne l'électricité, le problème de l'eau de refroidissement est de plus en plus important. Peut-être sait-on que pour des centrales de quatre fois 600 MW (1), qui ne sont même pas encore des centrales de 1980, le débit de la Seine commence à être insuffisant. On sera donc obligé d'aller ailleurs pour y chercher l'eau nécessaire.

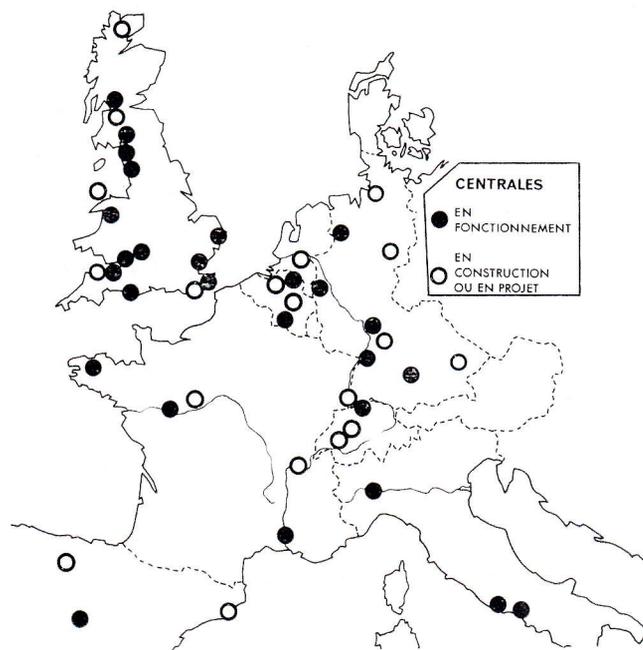
On pense aux très grands fleuves et aux estuaires. Pour la France : le Rhin, le Bas-Rhône, les estuaires de la Gironde et de la Loire nous offrent encore quelques possibilités.

Mais on pense surtout, bien sûr, à la mer qui est devenue un réservoir assez commode depuis que nos ingénieurs n'ont plus peur de l'eau salée.

Cette tendance maritime est assez opposée à celle que nous avons connue au cours du précédent demi-siècle où les grands centres de production se trouvaient concentrés soit dans les zones de consommation, soit dans les Alpes et surtout le Massif Central, château d'eau naturel qui renfermait de nombreux sites de barrages.

On va donc constater, au cours du prochain demi-siècle, une tendance inverse qui repoussera les sources d'énergie vers les côtes. La tendance à l'implantation vers le pourtour maritime apparaît donc bien marquée. Elle exigera très vite

(1) A titre de comparaison, signalons que la puissance de la centrale de Donzère-Mondragon est de 300 MW.



Des centrales électriques d'origine nucléaire, installées le long des côtes ou à proximité des grands fleuves, commencent à relayer les centrales classiques.

La carte ci-dessus indique seulement la localisation de ces centrales d'origine nucléaire, sans tenir compte de leur puissance. (Source : C.E.A. 1968)

la réservation de terrains convenables, compte tenu des besoins des autres usagers et autres industries (tourisme, construction, etc.) Ce qui n'empêchera pas de devoir, notamment dans les très grands centres comme la région parisienne, réserver aussi quelques sites pour y mettre les centrales qui assureront le soutien du réseau.

La question se pose, il est vrai, de savoir si nous ne raisonnons pas trop sur les techniques actuelles du refroidissement des grandes centrales et si l'on ne peut pas imaginer qu'il y aura d'autres solutions. On a parlé des aéro-réfrigérants, qui consistent à remplacer les masses d'eau que l'on fait passer dans les condenseurs par des masses d'air qui pourraient jouer le même rôle.

Seulement, l'air est moins dense que l'eau, ce qui signifie qu'il faut des masses beaucoup plus grandes d'air, pour arriver à obtenir le même résultat, et avec un certain courant d'air d'ailleurs, puisqu'il faut que l'air circule. Et il est apparu que ces installations, qui ne sont pas inconcevables — il en existe déjà — étaient encombrantes, et surtout coûteuses.

Nos technico-économistes sont tout à fait persuadés qu'il sera plus rentable de mettre les centrales relativement loin de la consommation, sur les bords de mer par exemple, et de transporter l'énergie, que d'associer à la centrale cette sorte de monstre que seraient les aéro-réfrigérants.

Une autre idée a été émise : pourquoi ne pas récupérer cette chaleur — car c'est la chaleur du condenseur qui nous embarrasse, et pour laquelle on s'enfuit au bord des mers afin de s'en débarrasser, alors que par ailleurs on en demande, en hiver en tout cas, un peu partout? Cela paraît une idée de bon sens. Encore faut-il noter qu'il y a bien d'autres formes d'énergie que nous ne récupérons pas, à commencer par l'énergie directe du soleil qui représente sur l'ensemble du territoire français une puissance colossale de quelque 500 milliards de kW — je crois — ce qui est tout à fait considérable.

Voilà de l'énergie perdue, et dans la mesure où on la laisse perdre, on laisse l'entropie du monde continuer à se dégrader ; c'est un problème du même ordre. C'est de l'énergie, elle est peu difficile à appréhender, mais elle est dégradée. C'est pourquoi, si la récupération est tentante pour un physicien, elle ne l'est guère pour un économiste.

De façon plus précise, il apparaît bien, que l'on peut récupérer par soutirage la chaleur des centrales ; lorsque ces centrales marchent effectivement c'est une opération intéressante. Mais la difficulté est que les centrales sont peu à peu déclassées par le progrès technique : les vieilles centrales marchent normalement beaucoup moins que les jeunes. Dès lors, si l'on est obligé de continuer à les faire marcher pour produire de la vapeur, on arrive à ce paradoxe que l'E.D.F. connaît bien : telle centrale, pour laquelle on utilise la vapeur à des fins calorifiques (ceci afin de faire un gain de rendement de l'ordre de 30 %), a maintenant une trentaine d'années et continue à fonctionner, alors qu'elle consomme deux ou trois fois plus de charbon que les autres. On perd aujourd'hui 200 % de rendement pour en avoir gagné 30 % il y a trente ans ! Le problème de récupération de la chaleur est donc beaucoup plus difficile qu'on ne le pense. S'il est certain qu'il y aura, dans les agglomérations très denses, un débouché pour le chauffage urbain (que ce soit par utilisation directe de la

vapeur produite par les centrales nucléaires, ou par soutirage pour les vieilles centrales), ce ne sera pas une solution majeure : elle restera particulière.

Nous sommes donc amenés à penser que les grandes centrales iront vers les littoraux, et ceci, bien sûr, les conduira très naturellement vers les grands ports, d'une part pour leur alimentation même, d'autre part et surtout parce que les gros consommateurs, eux aussi, qui importeront les matières premières seront conduits à aller vers les ports. Il sera donc intéressant d'y produire l'énergie. D'où, pour l'aménagement du territoire cette conséquence que l'on peut prévoir au cours du prochain demi-siècle : le développement de grands centres de production-consommation autour de quelques grands ports qui seront ainsi privilégiés.

● Pour les raffineries, car il en subsistera, et beaucoup, le problème est différent, parce que le transport des produits finis par tuyaux pose des problèmes que ne pose pas le transport du brut. En effet, on peut transporter du brut dans un tuyau, mais quand on a raffiné, on ne peut que difficilement faire se succéder dans un tuyau l'essence, le fuel, le gas-oil, ce qui implique une conduite par sorte de produit raffiné. De plus, certains de ces produits, notamment le mazout, ont la fâcheuse propriété de se prendre en masse et de boucher les tuyaux quand le parcours est trop long, en raison de leur viscosité.

Ainsi, le transport des produits n'est pas facile, et il s'ensuit qu'il y aura certainement des raffineries intérieures près de la consommation, de façon à limiter le développement de ces capillaires en produits finis, quitte à alimenter les raffineries intérieures par de gros oléoducs. Cependant, il y aura aussi des raffineries littorales, notamment dans les zones productrices d'énergie électrique, ceci d'une part, pour utiliser directement et sur place les produits noirs, et aussi parce qu'il y aura une forte consommation dans les dites régions.

Le transport d'énergie en "rase campagne".

Si l'on parle de techniques avancées, l'idée vient tout de suite que le « laser » pourrait résoudre les problèmes. A priori, on pourrait penser que pour le transport d'énergie sans fil, c'est une solution tentante. Mais il apparaît tout de suite

Grâce à divers artifices techniques, on multiplie par 15 à 20 la capacité de transport d'une ligne à haute tension lorsqu'on élève sa tension de 220 à 730 kV.

Les premières lignes à 220 kV sont apparues en France vers 1930. Les premières lignes à 730 kV sont prévues pour 1980. Dans l'intervalle, la puissance à transiter aura été multipliée par 15 environ, le volume des transports croissant un peu moins vite que celui des consommations. Donc un nombre inchangé de lignes — mais plus encombrantes — devrait théoriquement permettre de faire face aux besoins.

que si cette solution peut être valable dans les déserts, elle est parfaitement exclue dans les zones habitées à moins d'un balisage de sécurité tel que le bénéfice en serait perdu.

Le fil électrique conserve donc encore bien des mérites.

Le problème des transports se ramène alors, pour l'électricité à la densification des grands réseaux que nous connaissons. Les toiles d'araignée qui avoisinent les grandes villes sont encombrantes et quelquefois inesthétiques — le passage en milieu rural pose des problèmes à certains agriculteurs. Ces difficultés vont-elles s'aggraver ?

Heureusement non, sans doute, parce que parallèlement à l'accroissement de la consommation, il y a l'élévation des tensions. Vous savez que l'on parle de la tension 700 kV. Or, une ligne 700 kV transporte, pour différentes raisons qui ne tiennent pas seulement à l'élévation de la tension, 20 fois plus d'énergie que la ligne de 220 kV. Comme environ 25 à 30 ans séparent le début du 220 kV du début du 700 kV, et que le progrès s'accélère, on a toutes raisons de penser que le problème de l'encombrement par les lignes de transport est pratiquement stabilisé, grâce au progrès technique.

Si l'on prend les précautions nécessaires, il n'y aura pas plus d'encombrement dans cinquante ans, ou disons dans trente ans pour être plus prudent, par les lignes à 700 kV — ou même d'ailleurs à une autre tension — qu'il n'y en a actuellement avec les lignes 220 kV. Cela ne sera pas pire. On pourra même peut-être faire mieux, — mais c'est plus difficile — avec le

50 ou 60 sites de centrales thermiques ; 20 ou 30 sites de raffinage. Voilà à peu près ce dont aura besoin l'économie énergétique du prochain demi-siècle pour faire face aux besoins.

La localisation maritime des centrales nucléaires nécessaire pour des raisons techniques (refroidissement des réacteurs) va s'inscrire dans un mouvement de périphérisation dans un pays qui, comme la France, est de plus en plus tributaire de matières premières étrangères.

passage éventuel en câbles souterrains utilisant des techniques nouvelles (supraconducteurs). Le souterrain n'est pas exclu, mais sera certainement coûteux, et la question qui se pose est de savoir dans quelle mesure on est amené à remplacer plus ou moins vite les câbles des grandes lignes aériennes par des câbles souterrains.

Pour les hydrocarbures, tuyaux pour le brut, tuyaux pour les produits finis, ne posent pas de problèmes graves, semble-t-il.

L'alimentation des villes.

● L'alimentation des agglomérations pose d'abord le problème des « couloirs d'entrée » dans des régions déjà encombrées. On peut concevoir pour l'avenir des couloirs par les-

quels arrivent les différentes formes d'énergie, et de transport : autoroutes, télécommunications... La difficulté est que chaque maître d'œuvre, c'est bien connu, considère que son propre métier est plus important que les autres et ne veut pas être gêné par eux. Moyennant quoi l'ingénieur des ponts veut avoir seul son autoroute, l'ingénieur électricien veut avoir seul son couloir de ligne, sans que d'autres viennent l'ennuyer, et de même pour le chemin de fer, le métropolitain, etc.

Il n'en reste pas moins que si l'on rencontre (et l'on rencontrera) de plus en plus de difficultés pour faire entrer ces différentes formes de réseaux de transport dans les villes, on se rendra compte tôt ou tard qu'il est plus raisonnable de s'arranger pour faire tout entrer ensemble.

J'imagine que dans quelques années, on pourra peut-être voir des autoroutes relativement larges et dans l'espace vert qui sépare les voies, aller et retour, il y aura un oléoduc enterré, par dessus lequel on aura mis une ligne électrique dont le déparasitage permettra, bien avant 2020, l'écoute de l'autoradio.

Il y a, en tout cas, quelque chose à faire.

● La distribution au sein des villes pourrait s'inspirer des mêmes préoccupations. On se heurte ici à l'extraordinaire saturation des sous-sols. Dans tous les pays où il y a des villes très denses, que ce soit, en Europe, Londres, Paris, les villes allemandes, le problème du distributeur est de creuser assez profond pour pouvoir trouver de la place pour mettre son fil. Puis en remontant on répare tout ce que l'on a cassé, avant de s'en aller. Tout ceci est très regrettable et très coûteux.

A posteriori, on se rend compte que, s'il y a un demi-siècle ou plus, on avait systématiquement prévu, en même temps qu'on traçait les rues, des galeries pour tout ce qu'il y a à mettre dedans, on aurait fait une opération extraordinairement rentable, à très long terme, bien sûr. L'erreur a été faite. Les problèmes du centre des grandes villes sont maintenant redoutables. La bataille pour le sous-sol est une bataille de chaque jour. Au moins, que pour les villes nouvelles les précautions soient prises de telle manière que dans des galeries pré-établies on puisse mettre en place de façon rationnelle les lignes de téléphone, les fluides, les réseaux électriques, les égouts, etc., et ultérieurement les entretenir facilement, les renforcer si besoin est, sans passer son temps à ouvrir les trottoirs pour les refermer.

Cette conclusion très nette, et au surplus de bon sens, pose quelques problèmes financiers. Mais à long terme la rentabilité est évidente. Elle pose aussi des problèmes réglementaires — il apparaît que les réglementations afférentes à chaque fluide ou à chaque tuyau sont telles que leur coexistence dans une galerie est, pour l'instant, difficile à concevoir. Il faut donc repenser la réglementation, et ne pas trop se soucier de ce qu'un câble passe près d'un égout. Il n'y a plus aucune raison maintenant, avec les progrès de la technique, de ne pas faire cohabiter les égouts et les lignes téléphoniques, les lignes électriques, et éventuellement même des transports de produits pétroliers ou gaziers. Il faut revoir la réglementation afférente à chaque fluide, conçue isolément, pour en faire une réglementation globale.

M. B.