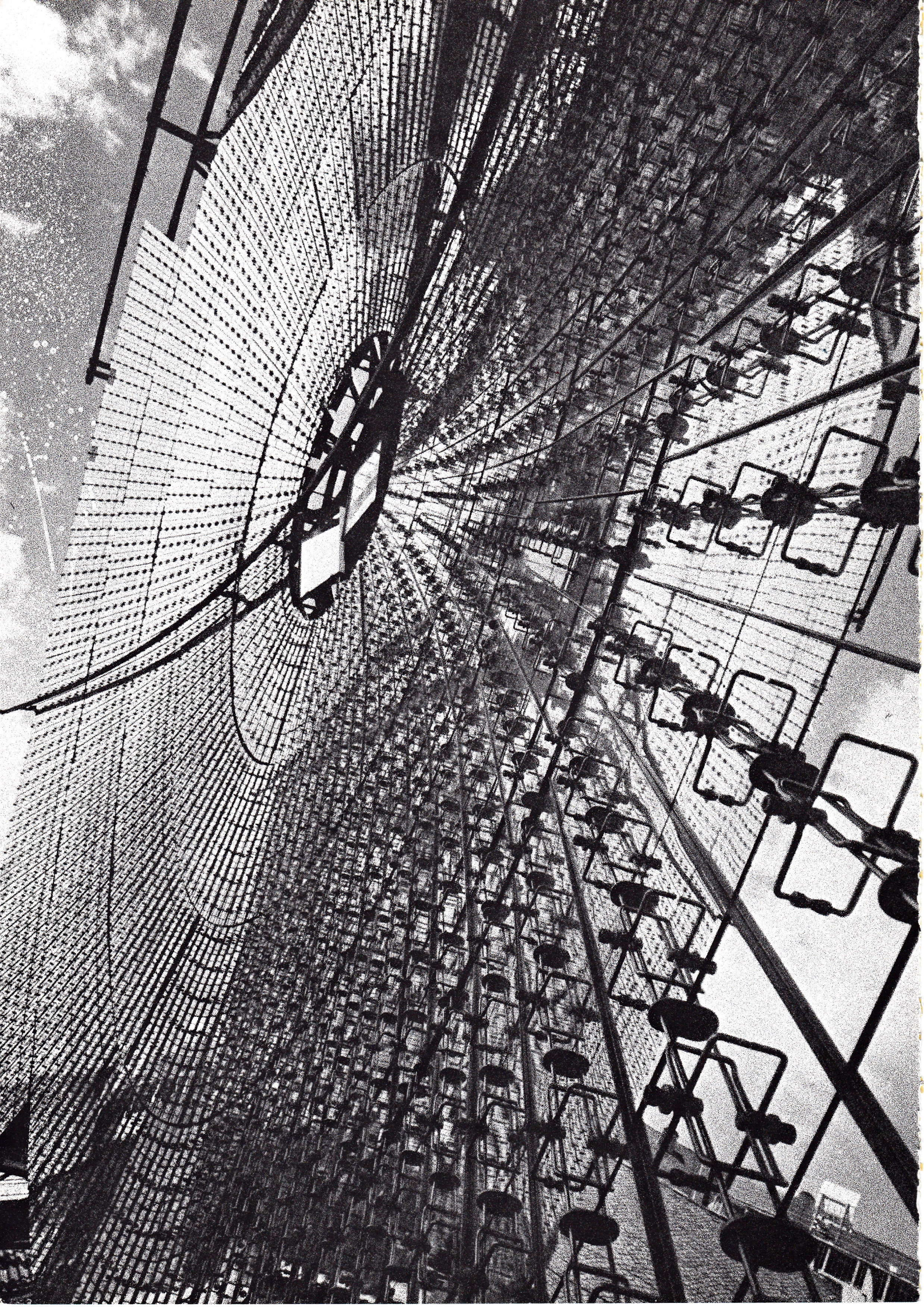




L'avenir est à l'énergie nucléaire

Arnaldo ANGELINI

Arnaldo Angelini est Directeur Général de l'Ente nazionale per l'energia elettrica (Italie).

Dans sa conférence au congrès « Sciences et techniques an 2000 », dont la revue « 2000 » reproduit ici les passages essentiels, il s'attaque à certains mythes, dont celui de la disparition imminente des sources d'énergie traditionnelles : il incite à la prudence les partisans de sources d'énergie « révolutionnaires ». Il semble bien que ce soit une forme d'énergie connue, l'électricité, que nous utiliserons encore demain, mais « modernisée » et d'origine presque entièrement nucléaire.

Depuis plus d'un siècle, la consommation d'énergie dans le monde a augmenté suivant une tendance exponentielle et à un taux annuel composé, évalué à plus de 3 %. Il est donc permis de penser que si cette tendance devait persister à un taux égal ou supérieur, la consommation atteindrait un niveau tel que les sources naturelles utilisées couramment pour la production d'énergie — pétrole, charbon, gaz naturel, forces hydrauliques — s'épuiseraient progressivement. Il s'est manifesté dans le passé des inquiétudes concernant l'épuisement de ces sources, dues à des évaluations pessimistes sur la découverte de nouveaux gisements et sur l'exploitation plus intensive des gisements connus, démenties par la suite, grâce aux progrès technologiques. Vers 1955, par exemple, on pensait que, pour satisfaire à ses besoins énergétiques croissants, l'Europe aurait été obligée de recourir à un marché caractérisé par la pénurie des sources primaires d'énergie, ce qui aurait considérablement augmenté les charges d'importation ; par la suite, les évaluations faites par les milieux officiels ont été bien moins pessimistes.

Le pétrole : 14,6 % des réserves potentielles exploitées

Voici ce qu'on pouvait lire dans le « rapport Robinson », préparé en 1959 pour l'Ocde (1) : « Il est peu probable qu'une pénurie durable des approvisionnements en énergie primaire intervienne d'ici à 1975. Les pays membres ne devraient donc pas fonder leurs politiques énergétiques sur l'hypothèse d'un « déficit » probable des approvisionnements énergétiques de l'Europe, en ce sens qu'ils ne trouveraient pas, à la source, des approvisionnements suffisants en énergie. »

L'intensification des recherches et leur extension à des zones jusque-là inexploitées ont eu, en effet, un grand succès en ce qui concerne le pétrole et le gaz naturel. Quant au premier, il résulte que les réserves « localisées » dans le monde jusqu'en 1970 ont été de 118,4 milliards de tonnes, dont 35 milliards — soit

environ 30 % — ont été pompés. Il ressort aussi que dans les dix années allant de 1960 à 1970 de nouvelles réserves ont été « localisées » pour 60 milliards de tonnes ; dans la même période, la consommation a atteint 16,4 milliards de tonnes, soit 27 % des réserves nouvellement localisées. Récemment, à part les gisements découverts dans les régions traditionnellement pétrolières, on en a découvert d'autres, dans des zones tout à fait nouvelles sous ce rapport (Algérie, Libye, puis Alaska, mer du Nord et Australie). La recherche et le pompage « off-shore » ont atteint des dimensions imprévues.

Les réserves connues en sources pétrolières exploitables, d'après une étude récemment publiée (2), pourraient être évaluées entre 193 et 300 milliards de tonnes au lieu des 118,4 milliards de tonnes connues ; si l'on accepte une hypothèse moyenne, soit 240 milliards de tonnes, le pétrole extrait jusqu'à la fin de 1970 représente 14,6 % des réserves potentielles contre 30 % des réserves « connues ».

Le fait que les réserves connues ne représentent, à la fin de 1970, que 36 fois la consommation de cette même année (environ 2,3 milliards de tonnes) ne doit pas faire craindre, pour les années prochaines, que les disponibilités en combustibles liquides puissent être insuffisantes à l'échelle mondiale. Le taux d'accroissement de la consommation a été certainement élevé au cours des derniers vingt ans — pas loin du 8 % annuel composé — et tout laisse penser qu'il restera encore élevé au cours des prochaines décennies. L'effort consacré à la recherche de nouveaux gisements devra, par conséquent, être grand, même si le taux d'accroissement de la consommation devait progressivement diminuer. Cela d'autant plus que la durée prévisible des réserves varie suivant les différents pays.

(1) Ocde : « L'énergie en Europe », Nouvelles perspectives, Paris 1960.

(2) M.K. Hubbert : « Energy resources for power production », dans : International Atomic Energy Agency, Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, Symposium : New York 10-14 août 1970, Vienne 1971.

Gaz et charbon : pas de risques de pénurie dans l'immédiat

La même considération est valable aussi pour ce qui concerne le gaz naturel ; les réserves connues à la fin de 1970 étaient de l'ordre de 45 000 milliards de mètres cubes alors que, d'après des évaluations provisoires, la production au cours de l'année 1970 aurait dépassé les 1 000 milliards de mètres cubes. Les réserves exploitables iraient, d'après la même source d'informations, d'un minimum de 226 400 milliards à un maximum de 339 600 milliards de mètres cubes. La production, jusqu'à présent, n'aurait utilisé qu'un pourcentage modeste — de 4 à 5 % — de la valeur moyenne des réserves (283 000 milliards de mètres cubes).

La consommation de gaz naturel s'est accrue, elle aussi, à un taux élevé, environ 8,5 %.

La situation des réserves de combustibles fossiles solides, charbon et lignite, apparaît très différente de celle des hydrocarbures liquides et gazeux. Les réserves mondiales connues et celles qui ont été évaluées correspondent à plusieurs milliers de fois la production et la consommation mondiales annuelles (en 1970, 2,2 milliards de tonnes de charbon et 260 millions de tonnes de lignite environ). Il n'y a pas lieu de craindre donc l'éventualité d'une pénurie de ces ressources, compte tenu par ailleurs du taux modeste d'accroissement de leur consommation qui a été, en moyenne, au cours des vingt dernières années, de peu supérieur à 2 % pour le charbon et inférieur à 4 % pour la lignite.

Les ressources indiquées dans cette étude comprennent les quantités utilisées jusqu'ici, qui ne sont importantes que pour ce qui concerne les hydrocarbures liquides.

Les nouvelles sources d'énergie : des recherches en cours

L'énergie hydraulique offre encore de grandes possibilités inexploitées en tant que telles, d'autant plus appréciables qu'elles sont permanentes. Elles sont cependant modestes par rapport à celles des combustibles, et se réduisent rapidement, du moins dans la plupart des pays industrialisés. Alors qu'en 1929 la moitié environ de la production mondiale d'énergie électrique était d'origine hydraulique, au cours de ces dernières années leur apport n'atteint pas le quart de la production totale d'électricité. Les ressources économiques exploitables, inutilisées jusqu'à présent, sont évaluées dans l'ensemble à 4 000 milliards de kWh par an, mais la plupart d'entre elles se trouvent dans des zones encore en voie de développement, ou très éloignées des centres de forte consommation.

Cette exposition rapide de la consistance de l'ensemble des sources énergétiques « traditionnelles » ne comprend ni l'énergie éolienne, ni le bois ni la tourbe qui, pendant longtemps, ont été,

avec les forces hydrauliques, les principales sources d'énergie de l'humanité et qui, parfois, le sont encore.

Mais d'autres sont à l'étude en vue de leur meilleure utilisation : l'énergie solaire, celle du vent, celle des marées et l'énergie géothermique. Les trois premières, bien que disponibles en grandes quantités, ne peuvent être utilisées qu'en mesure limitée à cause du coût des installations et de l'extrême variabilité dans le temps qui les caractérise. La conversion en forme utilisable de ces sources primaires a déjà été expérimentée et des installations de type industriel ont même été réalisées. En ce qui concerne l'énergie solaire, elle a pu être utilisée à des conditions relativement économiques dans des pays à climat chaud ou tempéré pour la dessalaison de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres, dans les « fours solaires » et pour le soulèvement d'eaux souterraines.

L'énergie marémotrice a été utilisée à échelle industrielle dans la production d'électricité, notamment sur la Rance, en France ; cependant, la production d'énergie à partir de cette source ne paraît pas destinée à se développer considérablement, soit à cause de sa disponibilité discontinue, soit pour son coût élevé.

L'énergie géothermique mérite une attention particulière, bien que son exploitation pour la production d'électricité ait été jusqu'à présent limitée : 6 à 7 milliards de kWh en 1970.

On peut espérer que le développement et l'intensification des études en cours aboutissent à des méthodes de prospection permettant de localiser de nouvelles sources d'énergie géothermique. Le sujet a été traité en plusieurs occasions et il a attiré dernièrement l'attention de l'Onu.

L'Italie a été le premier et est le principal producteur mondial d'énergie géothermoélectrique ; dans la partie occidentale des Etats-Unis de nombreuses et importantes initiatives ont été mises en œuvre qui pourront avoir un développement remarquable. Les autres pays producteurs sont la Nouvelle-Zélande, le Japon, l'U.R.S.S., le Mexique, le Salvador et la Turquie ; en Islande, l'énergie géothermique est exploitée pour le chauffage des maisons d'habitation et des serres.

Uranium : plus de 700 000 tonnes en réserve

L'énergie nucléaire est, parmi les sources « non traditionnelles », celle qui présente les plus vastes perspectives de développement.

Les réserves d'uranium, d'après l'édition la plus récente d'une publication de l'Ocde (3), étaient au mois d'avril 1970 d'environ 760 000 tonnes d'oxyde d'uranium (U_3O_8), disponibles à un prix inférieur à 10 dollars par livre ; comparés à une évaluation analogue datant de 1967, ces chiffres ont subi une augmen-

tation de l'ordre de 130 000 tonnes, et cela grâce à la découverte et à la mise en valeur de nouveaux gisements, notamment en Australie, au Canada, aux Etats-Unis et en Afrique.

La production de 1969 a été d'environ 23 000 tonnes de U_3O_8 . Le rapport entre réserves et production est appelé probablement à augmenter, puisque l'utilisation de l'énergie nucléaire est en pleine évolution, et les perspectives qu'elle présente encouragent les activités de recherche, de prospection et d'exploitation minières.

Les disponibilités effectives d'uranium suffiront à assurer un développement intense et durable de la production d'énergie nucléaire.

Au cours des années futures, l'énergie électrique sera de plus en plus pour l'humanité le canal d'utilisation de l'énergie nucléaire.

Bien des prévisions de la consommation d'énergie en l'an 2000 se basent sur l'hypothèse d'une expansion de la demande d'énergie électrique supérieure à celle des sources d'énergie dans leur ensemble. Il s'agit de la poursuite d'une tendance manifestée sur une longue période. Ce fait est dû à certaines caractéristiques techniques et économiques de cette forme d'énergie, notamment la possibilité :

- de la produire à partir de presque toutes les sources primaires disponibles ;
- de la transporter économiquement à de longues distances ;
- d'en régler la distribution de façon qu'elle coïncide constamment avec la demande de l'utilisateur ;
- de la distribuer capillairement en quantités très différentes, même minimes, selon les nécessités des utilisateurs ;
- de la transformer facilement et économiquement en toutes les formes d'énergie utile (chaleur, énergie mécanique, etc.).

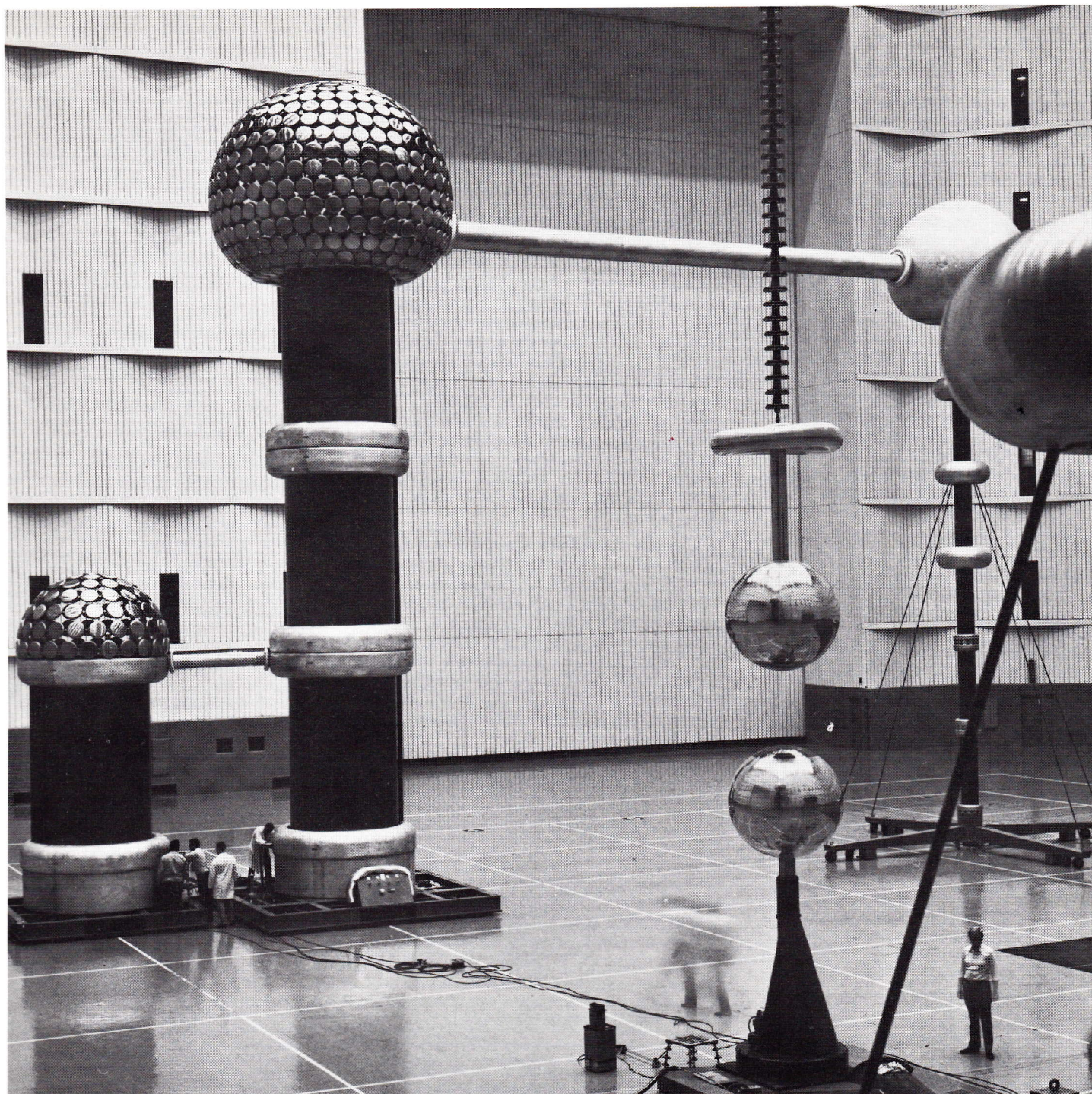
Dans les trente prochaines années, la consommation mondiale d'énergie doublera... au minimum

L'expérience du passé nous enseigne que ces sondages dans le futur ont un caractère extrêmement aléatoire ; ils n'en sont pas moins nécessaires, et c'est à juste titre que notre ami Ailleret, dans un ouvrage écrit il y a quelques années, consacra un chapitre à l'illustration du « danger des prévisions » et le chapitre suivant à l'illustration de la « nécessité des prévisions » (4).

En ce qui concerne les prévisions des besoins à longue échéance — dans notre cas jusqu'à l'an 2000 — il est probable que des faits nouveaux, d'ordre économique et technologique, naîtront au cours de ces trente années qui en atténueront fortement le fondement. Le but que l'on se propose est donc d'identifier

(3) Ocde : « Uranium : ressources, production et demande », Paris, septembre 1970.

(4) P. Ailleret : « Energétique, les besoins d'énergie », Paris, Eyrolles, 1963.



Centre de recherches E.D.F. des Renardières (près Fontainebleau, France) équipé récemment pour des essais de matériel à très haute tension et grande puissance et pour des applications nouvelles de l'électricité (chauffage, véhicules, etc.). Vue intérieure du laboratoire d'essais diélectriques à très haute tension. Générateur d'ondes de choc de 4 millions de volts.

la tendance du développement des besoins, en l'absence des effets de facteurs aléatoires que l'on ne peut aujourd'hui prendre en considération.

En général, ces chiffres sont d'autant plus élevés qu'ils sont plus récents.

La consommation mondiale de sources commerciales d'énergie était en 1952 de l'ordre de 21×10^{15} kcal (selon le rapport du Département des affaires économiques et sociales de l'Onu). Pour 1970, elle peut être estimée à un peu plus de 50×10^{15} kcal. Donc, la consommation mondiale au cours des trente prochaines années pourrait aller d'un minimum du double à un maximum de six fois la valeur actuelle.

Inutile d'insister sur les nombreuses raisons de cette dispersion (entre autres la diversité des hypothèses émises sur

le développement de la population mondiale). Les prévisions de l'interaction entre énergie et milieu comportent, elles aussi, une quantification et une spécification des besoins futurs en énergie ; il faut mentionner à ce propos le colloque international qui s'est déroulé en France en 1968, sur « L'aménagement du territoire et les techniques avancées » (5), dont les conclusions en ce qui concerne l'énergie ont été tirées par M. Boiteux.

On est d'accord pour prévoir que la consommation d'énergie électrique augmentera jusqu'à l'an 2000, suivant un taux d'accroissement supérieur à celui de la consommation globale de sources primaires d'énergie ; autrement dit, le processus d'ennoblissement des sources d'énergie à travers leur conversion en énergie électrique s'accroîtra.

Vu que l'emploi presque exclusif des sources nucléaires est, et sera encore, la production d'énergie électrique, les prévisions des besoins d'uranium sont fondées surtout sur celles des besoins d'énergie électrique et, par conséquent, sur l'incidence de l'énergie électrique sur la demande globale de sources primaires d'énergie. Sur cette base, B.I. Spinrad (6) a prévu, pour la période allant de 1985 à l'an 2010, quelle sera la puissance des installations de production d'énergie électrique installées dans le monde, et la part qui reviendra à la puissance nucléaire.

(5) Revue française de l'énergie, 1968.

(6) B.I. Spinrad : « The role of nuclear power in meeting world energy needs » dans : International Atomic Energy Agency, Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, Symposium : New York, 10-14 août 1970, Vienne 1971.

En l'an 2000, les centrales nucléaires produiront 82 % de l'énergie électrique

La puissance électrique installée globale est évaluée en 1970 à presque 1,1 milliard de kW, dont 24 millions seulement de kW nucléaires (c'est-à-dire 2,2 % environ) ; en 1985, elle devrait être d'environ 3 milliards de kW, dont 27 % nucléaires ; en 1990, elle devrait être de plus de 4 milliards de kW, dont 40 % nucléaires ; enfin, en l'an 2000, elle devrait être environ de 6,8 milliards de kW, dont 63 % nucléaires. Des estimations de Spinrad, on peut déduire ce qui suit : si l'on suppose que l'utilisation de la puissance des installations de production reste stable — soit 4 500 heures par an, selon les bilans approximatifs de 1970 —, la production mondiale d'énergie électrique s'élèverait à environ 13 500 milliards de kWh en 1985, à environ 18 100 milliards de kWh en 1990 et à environ 30 600 milliards de kWh en l'an 2000.

De cette production, celle provenant des centrales nucléaires serait plus que proportionnelle à la puissance, car on peut supposer une utilisation annuelle de l'ordre de 5 900 heures (7). La production nucléaire serait ainsi d'environ 4 800 milliards de kWh en 1985, 9 500 milliards de kWh en 1990 et 25 100 milliards de kWh en l'an 2000, soit respectivement 36 %, 52 % et 82 % de la production totale d'énergie électrique.

On a déjà vu la forte dispersion dans les prévisions des besoins globaux de sources primaires en l'an 2000. En adoptant les prévisions moyennes, soit environ 200×10^{15} kcal, on en déduirait pour l'an 2000 une participation de l'énergie nucléaire à la couverture des besoins de 27 % environ. Ce pourcentage devrait peut-être augmenter, pour tenir compte des emplois de l'énergie nucléaire autres que la production d'énergie électrique.

Malgré l'incertitude des prévisions, il est possible de formuler quelques déductions sur le problème des sources primaires d'énergie :

1) Si, au cours des dix ou vingt années à venir, on développe des réacteurs sur-régénérateurs compétitifs, on peut affirmer que jusqu'à l'an 2000, et pendant plusieurs dizaines d'années, les disponibilités en sources primaires nucléaires seront largement suffisantes pour satisfaire aux besoins pour la production d'énergie électrique et pour la production de chaleur destinée aux usages industriels et domestiques.

On ne tient pas compte ici du succès que pourront avoir les recherches sur la production d'énergie au moyen de réacteurs « à fusion ».

Le succès de ces recherches aura pour conséquence de prolonger, au-delà de toute limite prévisible, la période pendant laquelle la source nucléaire sera largement suffisante pour satisfaire tous les besoins auxquels elle peut s'adapter.

2) Les disponibilités en combustibles d'origine organique, solides et liquides, apparaissent bien plus limitées dans le temps ; en effet, on peut prévoir, surtout

pour le pétrole et le gaz naturel, que ces sources s'épuiseront bien plus rapidement que les sources primaires nucléaires.

Mais cette « échéance » se produira après l'an 2000 ; toutefois, on doit considérer attentivement l'extrême importance des conséquences qui en découleront.

Il faut devancer l'épuisement des combustibles organiques

Si l'on fait abstraction de la production d'énergie électrique, les combustibles organiques représentent donc aussi bien une source d'énergie qu'une matière première indispensable pour une quantité de productions de base et de dérivés. Les exemples seraient nombreux : il suffit de citer l'emploi des combustibles comme source énergétique dans les transports terrestres, maritimes et aériens, et comme matières premières dans l'industrie sidérurgique et dans la pétrochimie.

Les transformations imposées par un épuisement des combustibles organiques seraient si radicales, si profondes et si étendues qu'elles imprimeraient un élan nouveau aux recherches visant à réaliser, jusqu'aux limites du possible, le remplacement des combustibles organiques par un combustible nucléaire pour ce qui concerne la production d'énergie considérée dans l'acception large du terme.

Parmi ces recherches figurent celles qui ont trait à la propulsion nucléaire des navires et à l'emploi de l'énergie électrique dans les moyens de transports routiers. Pour ce qui concerne ce dernier point, il est nécessaire de s'engager davantage dans les recherches sur les accumulateurs d'énergie électrique qui soient, autant que possible, plus légers et plus économiques que les accumulateurs actuels. Le problème du remplacement des carburants actuels dans la propulsion des moyens de transport mérite une attention particulière.

En ce qui concerne les industries, on doit souhaiter que s'intensifie la recherche pour un remplacement progressif, mais le plus rapide possible, de l'emploi des combustibles traditionnels par les combustibles nucléaires, partout où les premiers sont destinés à produire de l'énergie.

A cet égard, il faut prendre à temps toutes les mesures utiles pour éloigner l'époque où les disponibilités en combustibles organiques ne suffiront plus à satisfaire qualitativement les besoins de matières premières. Et cela non seulement pour faire face aux problèmes de pénurie dans ce domaine, mais aussi pour limiter l'introduction dans l'atmosphère d'éléments altérogènes et la consommation d'oxygène qui, selon des évaluations récentes, excède déjà la production dérivant de processus biologiques.

A.A.

(7) Cette utilisation correspond au facteur moyen de charge de 0,67 pris comme hypothèse pour l'an 2000 par l'Agence européenne pour l'énergie nucléaire, dans son rapport « Exemples de programmes de réacteurs de puissance », mai 1968, Paris.