

Le centre industriel de Marcoule

L'Europe grondait dans sa folie. L'Amérique semblait dormir au fond de l'horizon, de l'autre côté de la mer. La terre tournait comme un grand astre, où la paix ne tenait plus qu'à l'équilibre incertain de forces imbéciles.

Comment a-t-il pu se faire que l'Europe ait, du jour au lendemain, perdu les avantages que lui donne sa technique du 20^e siècle. La force de l'Occident moderne ne tient-elle donc qu'à un fil ? Il suffit qu'une cinquantaine de dragues coulent en quelques points d'un canal à peine large de 30 m pour que l'Europe entière soit paralysée dans son activité. Il suffit qu'une poignée de saboteurs fasse sauter quelques postes de pompage sur un pipeline oriental pour désemperer notre industrie, bouleverser notre économie, détruire notre confort, empêcher des millions de gens de se déplacer librement comme ils en avaient l'habitude, pour désorganiser l'appareil de notre travail et de nos loisirs qu'on croyait si bien réglé. Quelle est donc cette clef de voûte de notre civilisation technique qui se trouve dans un désert, à mille kilomètres de chez nous ? C'est l'Energie, l'aliment de ces milliards d'esclaves mécaniques qui travaillent pour nous dans nos usines, sur nos routes, dans nos champs, dans nos maisons, partout. Sans eux, nous sommes impuissants.

Dans la Rome antique, le praticien qui possédait des esclaves humains n'avait pas de mal à leur trouver de la nourriture.

Avec un lopin de terre, l'esclave se nourrissait tout seul. De même pour l'animal de trait, autre esclave : il n'y avait qu'à le lâcher dans un champ. Mais on ne nourrit pas

facilement les robots que l'homme a créé et qui sont aujourd'hui de loin sa principale main-d'œuvre. Leur rendement est, bien sûr, infiniment supérieur à celui de l'homme. Avec 15 litres de pétrole, un moteur dégage autant d'énergie mécanique qu'un homme pendant toute une année. Aujourd'hui, il y a sur notre planète plus de 70 milliards de ces esclaves mécaniques contre deux milliards et demi d'êtres humains. L'Amérique est, au monde, l'homme qui dispose du plus grand nombre de robots ; ils l'entourent de soin, lui refroidissent ses boissons, lui lavent sa vaisselle et son linge, le porte élégamment sur les routes et rapidement dans les airs, charment sa vue par des images, livrent chez lui des orchestres symphoniques au grand complet, et lui fabriquent toujours plus de nouveaux moyens de confort. L'énergie que l'Amérique doit produire pour nourrir ses générations croissantes de robots est incalculable.

Les esclaves mécaniques de l'Europe. La vie de l'Européen elle aussi, dépendra dans une large mesure de ses esclaves mécaniques. Mais il est, lui, obligé de faire venir une grande partie de leur nourriture d'ailleurs.

Se procurer les quantités d'énergie nécessaires, dans les quantités désirables, les transporter à longue distance, tels sont les trois problèmes qui se poseront à l'activité économique de tout un continent. Ne pas les résoudre immédiatement équivaut à laisser s'abattre une grande menace sur la production industrielle et agricole de l'Europe et, par conséquent, sur la vie quotidienne de chacun d'entre nous.

Nos moteurs devront modifier leur régime alimentaire et consommer davantage d'alcool, de cet alcool produit à des prix énormes pour résorber les excédents de vin et de betteraves, et que nous bradions aux Américains il y a seulement quelques mois. Le supercarburant exigeait trop d'énergie pour sa préparation : on n'en fabriquera plus. Un mélange ternaire, qui ne le vaut pas, lui succédera. Nous

voici, déjà revenus à la politique des ersatz et des produits de remplacement.

Sans doute, la présente crise du pétrole n'est que passagère. Les pipelines seront réparés. Le canal de Suez, dégagé de ses épaves, s'ouvrira de nouveau à la navigation. Les pétroliers géants, d'un trop gros tonnage pour utiliser Suez, contourneront en service normal la pointe sud de l'Afrique. Mais l'alerte aura montré que le monde, et l'Europe en particulier, ne pourront poursuivre leur activité économique qu'en utilisant à la limite toutes les sources d'énergie possibles. Le pétrole n'est que l'une de ces sources. Il est loin d'être la plus importante. A plus long terme, comment se présente l'avenir sur le marché de l'énergie ? Une énergie presque illimitée : par la désintégration de l'atome qui nous offrira des possibilités d'énergie quasi illimitées : voilà qui ne fait plus de doute ! En juillet dernier, Monsieur Francis Perrin, haut commissaire de l'Energie Atomique affirmait que la valeur énergétique des réserves mondiales d'uranium serait sans doute dix ou vingt fois plus grande que celle de toutes les réserves de combustibles fossiles : la densité de l'uranium 18,7 a un mélange de trois isotopes. Elément chimique (U), de numéro atomique 92, de masse atomique 238,028 9, sa valeur énergétique est nettement plus importante que le charbon qui demeure la deuxième source d'énergie mondiale assurant moins de 30 % de la consommation, par contre le pétrole a une densité variant de 0,8 à 0,95 et demeure la principale source d'énergie mondiale. D'ores et déjà, la valeur énergétique de la production d'uranium dans le monde – environ 10000 tonnes par ans – dépasserait largement celle de la production de charbon et de pétrole. Le problème ne sera pas résolu pour autant. Cette énorme puissance calorifique se présentera sous une forme difficilement accessible. Ce qu'on trouvera dans la nature, c'est de l'uranium 238 qui ne contiendra que 7 pour 1000 d'uranium 235 directement fissile. Si l'on

veut en extraire cette précieuse matière, il faudra créer des usines de séparation isotopiques extrêmement coûteuses. Celles des Etats-Unis consomment à elles seules, autant d'électricité que la France entière.

Le centre industriel de Marcoule.

Le site choisi par la construction des trois premières piles atomiques à grande puissance G1, G2, G3, se trouve dans le sud de la France, sur la rive droite de Rhône, à 25 km d'Avignon.

La construction de l'usine de plutonium a commencé au printemps 1955. Au début de 1956, 10000 m² de béton avaient déjà été coulés. Elle permettra de réaliser l'extraction chimique du plutonium et sa mise sous forme de lingots de métal purifié, la décontamination et la purification de l'uranium appauvri en uranium 235, mais pouvant être réutilisé comme combustible, enfin la séparation et le stockage des produits de fission.

C'est à l'électricité de France qu'est revenue l'étude des génératrices électriques associées à chaque pile, en l'occurrence des groupes turboalternateurs transformant en électricité la chaleur produite. Une fois assurée leur propre alimentation, ce sont 60000 KW qui pourront être fournis par G2, et G3 au réseau général de distribution électrique à partir de 1958. Ces premières centrales électriques d'énergie nucléaire, serviront alors d'unités pilotes pour les futures centrales de puissance que l'EDF, a projetées. Là, le combustible nucléaire ne sera plus de l'uranium enrichi par le plutonium extrait des piles de Marcoule.

La relève du charbon par l'uranium.

L'application la plus évidente de la fission est la production d'énergie. Puisque l'on sait, par des montages appropriés, obtenir des réactions en chaîne, les empêcher de se transformer en explosion destructives et contrôler

avec précision le flux d'énergie qu'elles libèrent, l'uranium doit normalement prendre rang parmi les « combustibles ». La chaleur que l'on parviendra à lui faire dégager dans les réacteurs devrait pouvoir servir à produire de la vapeur pour alimenter une centrale électrique, au même titre que le charbon ou le fuel-oil engendraient en brûlant dans les foyers des chaudières classiques. Que l'opération soit techniquement réalisable a été d'ores et déjà surabondamment démontré : dès 1951, un réacteur expérimental à Arco aux Etats-Unis, a actionné un turboalternateur raccordé à un réseau de distribution ; la performance était modeste puisque la puissance ne dépassait pas 150 KW. On a fait beaucoup mieux depuis, aux Etats-Unis mêmes, avec d'autres réacteurs expérimentaux, et avec les prototypes destinés aux sous-marins à propulsion atomique Nautilus et Seawoff. L'U-R-S-S exploitera depuis 1954 une petite centrale de 5000 KW, puissance voisine de celle que livrera le premier grand réacteur français de Marcoule : la Grande-Bretagne avec les réacteurs de Calder Hall mis en service officiellement en octobre dernier, atteindra le cap des 100000 KW. Il ne s'agirait que d'expérience et de réalisations isolées sans grande portée pratique si, en même temps que les économistes et les techniciens dressent, non sans inquiétude, l'inventaire des sources d'énergie électrique et évalueront la durée probable des gisements de charbon et de pétrole, la prospection méthodique de l'uranium ne confirmait l'abondance de ses minerais exploitables. On aura la certitude dès aujourd'hui qu'aucune pénurie de combustible nucléaire ne s'opposera à la multiplication des réacteurs de puissance lorsque celle-ci deviendrait nécessaire. La relève sera assurée sans qu'il soit mis en danger l'avenir de notre civilisation mécanique, fondée sur l'abondance de la force motrice.

L'énergie nucléaire arrive ainsi à son heure, presque providentiellement. On aura pu calculer que, pour donner

au monde entier un standard de vie approchant celui des Etats-Unis, il faudrait multiplier par 5 la quantité d'énergie développée actuellement ; s'il en était ainsi, les réserves énormes de combustible fossiles : charbon, pétrole, gaz naturel, appelées à en fournir la quasi totalité (la part de l'hydraulique dont le pétrole de croissance rapide et terminée, ne pouvant guère dépasser 1 %) seraient épuisées en 50 ou 60 ans. Cette estimation sommaire n'aura pour but de souligner la gravité du problème auquel auront à faire face nos petits-enfants si nous ne cherchons pas dès aujourd'hui des sources d'énergie de remplacement. En fait, dans le monde actuel, la compagnie des réserves et des besoins, faire en tenant compte du doublement de la demande tous les dix ans, loi assez bien vérifiée jusqu'ici dans de nombreux pays, laisse espérer que la crise de l'énergie ne se fera pas sentir avant au moins un siècle sur le plan mondial. Mais les ressources énergétiques, combustibles fossiles ou hydraulique, sont très inégalement répartis géographiquement. Certains pays, les Etats-Unis par exemple, disposent de charbon en grande quantité et pourraient vivre et se développer sur leurs réserves pendant plusieurs siècles. D'autres comme l'Inde, n'ont même pas commencé leur équipement hydroélectrique. Dans les pays suffisamment pourvus en charbon, le prix de l'énergie se trouvera grevé de frais de transport. En outre, ce combustible va devenir de plus en plus cher avec les difficultés croissantes d'extraction. Rares sont les régions où ; d'où l'an 2000, on pourra faire face aux besoins toujours croissants de la consommation sans augmentation semblable des prix. On conçoit que chaque nation adapterait ses programmes d'équipement nucléaire suivant ses ressources et ses besoins particuliers. La Grande-Bretagne, pays industriel qui tirerait pratiquement toute son énergie d'un charbon de plus en plus profond, de plus en plus coûteux, dépourvue de pétrole et de gaz naturel, se lance dès maintenant dans un programme massif de centrales atomi-

ques de grande puissance. Pour le Canada, dont l'équipement hydroélectrique est loin d'être achevé et qui disposerait des pétroles de l'Alberta, l'énergie d'origine atomique présente beaucoup moins d'intérêt sauf pour réduire les différences de prix de l'électricité d'un point à l'autre de son territoire très étendu. La position de la France est intermédiaire entre celles de la Grande-Bretagne et du Canada : son approvisionnement en charbon suffisant avec les seules ressources métropolitaines, est complété sans trop de difficultés par des importations, et il lui restera un certain nombre de sites hydrauliques à équiper. Aussi le programme nucléaire industriel est-il plus modeste et use-t-il surtout à préparer l'industrie aux tâches qui l'attendront, ainsi que l'on ira plus haut. Les prototypes de Marcoule livreront 60000 KW en 1959, la centrale de l'électricité de France installée sur la Loire, développera 60000 KW : tous les trois ou quatre ans, la puissance installée chaque année devra doubler.

Quant aux Etats-Unis, bien que le charbon y soit très bon marché, bien que des équipements hydrauliques avantageux puissent encore être installés sur de nombreuses rivières, bien que le pétrole et le gaz naturel y soient abondants, plusieurs centrales électriques de grande puissance de conceptions différentes sont en construction. La commission de l'Energie Atomique américaine finance la plupart de ces projets, au moins partiellement, et délivre les autorisations nécessaires à ceux proposés par les entreprises privées, car elle est la seule dispensatrice de combustible nucléaire. La politique serait de déterminer, par la construction de prototypes successifs et l'étude de leur comportement, quels sont les modèles de réacteurs de puissance dont le prix de revient est le plus bas et dont l'exploitation est la plus sûre et la plus économique. La situation privilégiée des Etats-Unis, quant à l'abondance des sources d'énergie conventionnelles, leur permettra d'attendre les résultats de ces réacteurs expérimentaux,

d'ailleurs plus évolués que ceux qu'édifient les pays de l'Europe occidentale, avant d'entreprendre leur équipement nucléaire à une grande échelle. D'ici cinq ou dix ans, les « breeders » ou surgénérateurs seront vraisemblablement au point et on pourra aisément les multiplier en utilisant les premières charges, les stocks de matières fissiles, uranium 235 et plutonium, accumulés pour l'armée.

D'ici cinq ou dix ans, si l'expérience acquise dans le monde, elle permettrait aux centrales nucléaires de livrer le kilowattheure à un prix comparable à celui des centrales classiques. Le prix de revient actuel serait difficile à évaluer : il est certainement que peu favorable, car les rendements seront encore médiocres, mais ils vont en s'améliorant. De même, avec les progrès de la technique, les frais d'établissement d'une centrale thermique fonctionnant au charbon. Seule l'usure des installations sembleraient devoir être un peu plus rapide : la « vie » d'un réacteur semblerait devoir s'étaler sur une vingtaine d'années (plusieurs piles fonctionnent déjà plus de dix ans d'une manière satisfaisante, contre trente pour elle d'une centrale classique.

En contre partie, les frais d'exploitation et les dépenses de combustible seront minimales, celles-ci pourront même peut-être devenir négatives lorsque les « breeders » perfectionnés fabriqueront plus de matière fissile qu'ils n'en consommeront.

Les « breeders » décupleront le rendement des réacteurs.

La mise au point des « breeders » marquera l'étape décisive dans le développement industriel de l'énergie nucléaire. Dans les réacteurs que l'on sait construire actuellement avec l'uranium naturel, on tirera du combustible une énergie équivalant seulement à celle que livrera 10 000 fois son poids de charbon. D'ici quelques années, on parviendra sans doute à multiplier le rendement par 10. Dans plusieurs dizaines d'années avec les

« breeders », le rendement équivaldra à un million de fois le poids du combustible en charbon de sorte que si en l'an 2000, toute l'électricité de la planète était fournie par l'uranium, on ne consommerait par an que quelques milliers de tonnes, moins que l'on avait extrait en 1955. Ces « breeders » à uranium très enrichi en matières fissiles seront vraisemblablement plus faciles à construire que les réacteurs à uranium naturel, plus compacts, et avec un meilleur bilan de neutrons pour assurer la conversion de l'uranium-238 et du thorium respectivement en plutonium ou en uranium-233, selon le cycle choisi.

On aura vu précédemment qu'il n'existe que trois éléments fissiles : l'uranium-235, le plutonium-239 et l'uranium 233. Seul le premier se trouve dans la nature et constitue donc le point de départ obligatoire de toute l'industrie nucléaire. C'est lui qui permettra la fabrication du plutonium qui, espère-t-on servira à enrichir le combustible des « breeders » plus économiquement que l'uranium-235 que les Etats-Unis, l'U.R.S.S. et, à une moindre échelle, la Grande-Bretagne, parviendront à extraire à grands frais de l'uranium naturel. Dans un « breeders » fonctionnant suivant le cycle uranium-plutonium, le cœur du réacteur chargé en plutonium dégagera de la chaleur utilisable industriellement, tandis que, dans l'uranium disposé à son voisinage, il engendra plus de plutonium qu'il en est détruit par fission. Périodiquement, les matériaux seront extraits du réacteur et traités chimiquement ; une partie du plutonium servira à recharger le cœur du réacteur, et celui en excès sera mis en réserve pour l'édification de nouvelles installations.

Le thorium, étant une matière « fertile » au même titre que l'uranium 238, peut remplacer l'uranium dans ce cycle. L'uranium-233 qu'il donne présenterait certains avantages sur le plutonium, car il est beaucoup moins toxique. La toxicité du plutonium est telle, en effet, que toutes les opérations de conditionnement des charges de-

vaient être conduites avec de grandes précautions, en faisant appel à toutes les ressources de l'automatisation. Les propriétés physiques du plutonium sur lesquelles devront se fonder ses traitements métallurgiques seront en outre beaucoup moins bien connues que celles de l'uranium.

Quoi qu'il en soit, le traitement du combustible et des matériaux fertiles représenterait la dépense principale de l'exploitation des « breeders ». Ce type de réacteur, qui serait sans doute celui de l'avenir, poserait cependant des problèmes technologiques ardues dont les solutions proposées n'auront pas encore fait leurs preuves. On y travaille activement en plusieurs pays.

C'est en Grande-Bretagne que le programme de centrales nucléaires est le plus important et le plus cohérent. Il est fondé essentiellement sur l'emploi ; au départ de l'uranium naturel. Dès 1953 on envisagera la construction d'une centrale prototype qui devait être Calder Hall et dont les travaux furent commencés cette même année-300 millions de livres, près de 300 milliards de francs, devaient être affectés en dix ans à la construction de 12 autres centrales devant produire, en 1965, 12 milliards de kWh, soit l'équivalent de 5 à 6 millions de tonnes de charbon brûlées dans des centrales classiques. La centrale de Calder Hall, qui a été inaugurée officiellement par la reine, le 17 octobre, comportera deux réacteurs alimentant quatre groupes turboalteurs fournissant au total 92000 kW, dont 65000 environ seront envoyés sur le réseau d'interconnexion, le « grid ». Ce sont des réacteurs utilisant le graphite comme modérateur et le gaz carbonique pour le refroidissement. Ils formeront la première partie d'un ensemble qui comportera quatre réacteurs portant la puissance totale de Calder Hall à 184000 kW dès 1958-1959.

Les deux premières centrales industrielles du même type, qui seront édifiées par la Central Electricity Authority, se trouveront à Bradwell (Essex), à l'embouchure de la

rivière Blackwater, et à Berkeley (Gloucestershire) sur l'estuaire de la Severn ; une troisième, non comprise dans le programme initial, sera construite par le South of Scotland Electricity Board, à Partincross, sur la côte de l'Ayrshire. Elles devaient être prêtes dès 1960-1961. Grâce à l'expérience acquise avec Calder Hal, leur puissance sera bien supérieure à celle prévue à l'origine. Au lieu de 200 megawats (200000 kW), elles fourniront sans doute près de 300 MW. La puissance nucléaire installée en 1965 atteindra ainsi 3500 à 4000 MW, au lieu des 1750 à 2000 MW prévus, et satisfera plus du cinquième des besoins de la Grande-Bretagne en énergie, économisant plus de 10 millions de tonnes de charbon par an. Toujours du type Calder-Hall deux centrales sont en construction à Chapel Cross, près d'Annan, dans le sud-ouest de l'Ecosse. Elles devaient essentiellement fournir du plutonium pour l'armée, mais leurs quatre réacteurs livreront en 1959 quelque 200 MW d'électricité comme sous-produit. Deux autres réacteurs pour l'armée seront également édifiés à Calder-Hall même.

Les réacteurs du type Calder-Hall, à uranium naturel, graphite et gaz carbonique, ont été choisis pour les premières réalisations britanniques, mais d'importantes recherches en cours porteront sur la mise au point d'ensembles plus évolués, utilisant le plutonium, sous-produit des premières piles, pour enrichir le combustible. On étudiera, dès maintenant, en Grande-Bretagne les réacteurs à eau sous pression et ceux refroidis, d'ici 1960, les problèmes techniques qu'ils poseront, surtout au point de vue corrosion (Exxon Research and Engineering Co, aura mis au point un moyen de prévoir la corrosité dans des brutes fractions pétrolières, *la corrosion sera mise en équation* vis-à-vis des divers matériaux qui entrent dans la construction des installations : l'usine, la sécurité, l'environnement. Plusieurs centrales du programme décennal pourraient être de l'un ou l'autre type. De plus, à