

PRESIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

H

**INTEGRATION DE L'ENERGIE NUCLEAIRE  
PARMI LES MOYENS DE PRODUCTION  
DE L'ENERGIE EN FRANCE**

P ALLERET

Directeur général des Etudes et Recherches  
de l'Electricité de France

et

P. TARANGER

Commissariat à l'Energie atomique



Rapport C.E.A. n° 393

P. 324 - (séance 5)

1955

- Rapport C.E.A. n° 393 -

INTEGRATION DE L'ENERGIE NUCLEAIRE  
PARMI LES MOYENS DE PRODUCTION DE L'ENERGIE EN FRANCE

par

P. AILLERET

Directeur général des Etudes et Recherches  
de l'Electricité de France

et

P. TARANGER

Directeur industriel au Commissariat à l'Energie atomique

Communication du C.E.A. à la Conférence de Genève

- Août 1955 -

INTEGRATION DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

PARMI LES MOYENS DE PRODUCTION DE L'ENERGIE EN FRANCE

par M. P. AILLERET (1) et P. TARANGER (2)

1) L'évolution de la situation énergétique de la France peut se résumer ainsi :

- La consommation du charbon pour tous usages, y compris l'alimentation des centrales thermiques, a très peu varié depuis le début du siècle. Elle est de l'ordre de 70 millions de tonnes par an, et elle est assurée à raison de 55 millions de tonnes par an par la production des mines françaises.
- La consommation de produits pétroliers est en accroissement rapide, lié principalement au développement des transports, comme dans l'ensemble du monde. La production française est encore très faible, mais les succès récents des recherches pétrolières en France permettent de penser qu'un développement important de production est possible tant en gaz naturel qu'en pétrole, avec une incertitude pour le moment très grande sur les tonnages qui seront atteints.
- La consommation d'énergie électrique progresse actuellement à une cadence de l'ordre de 7 à 8 % par an, soit sensiblement au taux du doublement tous les dix ans. Il paraît très probable que cette tendance se poursuivra pendant longtemps. D'ailleurs la consommation moyenne par habitant n'est encore en France que de 1 050 kWh/an, de sorte que toute crainte de saturation paraît repoussée très loin du fait que des pays ayant atteint des consommations par habitant 3 ou 4 fois plus élevées ne voient encore apparaître aucun signe de saturation.

•  
• •

2) Cette consommation électrique provient pour moitié environ de centrales hydrauliques et pour moitié de centrales thermiques.

---

(1) Membre du Comité de l'Energie Atomique - Directeur Général des Etudes et Recherches de l'Electricité de France

(2) Directeur Industriel au Commissariat à l'Energie Atomique

- 3) La production hydroélectrique française est actuellement d'environ 25 milliards de kWh en année hydraulique moyenne.
- 4) La limite des possibilités hydroélectriques françaises est difficile à préciser car elle n'a de sens que pour un niveau de valeur déterminée de ces aménagements. C'est probablement seulement quand on voudra dépasser 60 ou 70 milliards de kWh/an que les coûts monteront substantiellement du fait qu'il faudra alors accepter des chutes moins favorables, soit du point de vue des dispositions locales, soit au point de vue de la nature géologique.
- 5) Dans la phase actuelle aucune diminution de la valeur des aménagements que l'on réalise ne peut encore être constatée. La sélection constante des sites considérés comme les meilleurs aurait dû faire apparaître une baisse de valeur des nouveaux sites, mais cette tendance a été compensée par l'amélioration progressive dans l'architecture rationnelle des aménagements.

D'autre part, des moyens techniques nouveaux améliorent encore les coûts unitaires des aménagements: les progrès dans la perforation des souterrains, les possibilités nouvelles ouvertes dans l'aménagement des basses chutes par la conception des turbines hydrauliques axiales en sont des exemples importants.

- 6) Néanmoins, la phase de renchérissement des équipements disponibles pourrait commencer dans une dizaine d'années si l'on continuait à faire face à la moitié des besoins nouveaux d'électricité avec des aménagements hydroélectriques (en fait ce pourcentage est un peu plus faible dans la dernière tranche d'équipements).

En tous cas, dans une vingtaine d'années on arriverait à des prix qui seraient prohibitifs par rapport au coût de l'énergie thermique dans l'hypothèse où les combustibles classiques resteraient au même prix.

- 7) A cette époque, à défaut d'une source d'énergie naturelle, l'énergie thermique ne devrait pas seulement prendre la même part qu'autrefois dans les besoins nouveaux de la consommation mais elle devrait aussi relayer l'hydraulique.

°  
° °

- 8) Heureusement la croissance des calories nécessaires n'est pas proportionnelle aux besoins d'énergie thermique: d'une part les rendements continuent à s'améliorer. Les températures ont monté assez régulièrement depuis le début du siècle à une cadence moyenne de 7° par an et on aurait pu penser que cette progression deviendrait de plus en plus difficile. En fait, les températures continuent à monter rapidement. Bien entendu les rendements thermodynamiques ont une croissance de plus en plus lente mais les chiffres de calories par kWh continuent à baisser substantiellement dans les installations nouvelles.
- 9) Il faut tenir compte d'autre part de ce que le rendement moyen est encore très inférieur au rendement des unités les plus modernes. Le rajeunissement du parc de centrales ne résulte que d'une lente progression. Ainsi le rendement moyen continuerait à monter même si la technique des groupes nouveaux se stabilisait, ce qui n'est pas le cas.
- 10) Au total, les prévisions de consommation de calories faites en France montrent qu'un quadruplement de la production d'énergie thermique entraînerait

un triplement des calories nécessaires sous forme de charbon ou de fuel.

A cet ordre de grandeur du développement des besoins de calories dans les 20 années à venir, il faudra vers la fin de cette période commencer à ajouter un supplément correspondant à la relève progressive de l'hydraulique.

°  
° °

11) A l'heure actuelle la production thermique d'énergie électrique française se fait essentiellement à base de charbon. Mais la production des mines françaises est très peu souple et paraît devoir plafonner autour de 55 millions de tonnes par an. Sans doute la réduction progressive des consommations de charbon des chemins de fer et du chauffage domestique compensera une partie de la croissance des besoins des centrales. La réduction de consommation du charbon pour les locomotives est d'ailleurs due en France moins à la dieselisation qu'à l'électrification des chemins de fer qui se poursuit à la cadence d'environ 200 kilomètres par an, stimulée par le succès de mise au point de la traction à 50 périodes. Néanmoins, ces compensations ne seront que partielles et le besoin de calories supplémentaires ne pourrait être satisfait que par l'importation, à moins d'un très grand développement de la production pétrolière sur le territoire français qu'il serait encore prématuré d'escompter aussi ample.

12) Ainsi le développement exponentiel probable des besoins d'énergie électrique justifierait-il une sérieuse inquiétude d'avenir si les moyens classiques étaient seuls à envisager. Sans doute une certaine rallonge de l'énergie hydraulique est-elle encore possible en France ou des conditions naturelles particulièrement favorables peuvent permettre d'utiliser dans la baie du Mont Saint-Michel des marées d'une amplitude exceptionnelle (12,6 m en marée de vive eau moyenne). Mais il ne s'agit là que d'une rallonge à l'échelle de 15 à 20 milliards de kWh/an qui ne ferait que retarder les difficultés de quelques années.

13) C'est pourquoi la France est très particulièrement intéressée par l'énergie atomique qui paraît devoir apporter en temps utile la relève à l'hydraulique et limiter un développement des besoins de calories auxquels les ressources naturelles de la France en combustible classique ne permettraient vraisemblablement pas de faire face.

°  
° °

14) Alors que les prix de l'énergie hydraulique monteront progressivement en France dans quelques années et que la production thermique posera des problèmes de disponibilités de calories, le prix de revient de l'énergie atomique va se préciser et baisser probablement assez vite.

A partir du moment où les courbes du prix de revient se recouperont, il y aura intérêt à faire un développement quantitatif massif des centrales nucléaires. Pour être en état de le faire, il est nécessaire d'avoir réalisé déjà un développement à assez grande échelle de ces centrales avant même que la rentabilité n'en soit assurée.

C'est donc progressivement qu'elles s'intégreront dans les moyens de production français et cette progressivité cadre précisément assez bien avec la croissance de la difficulté de produire en France de l'énergie classique en quantité

suffisante.

- . . .
- 15) Les centrales nucléaires débiteront sur le réseau général d'interconnexion français, en parallèle avec les centrales thermiques et hydrauliques et leur exploitation sera déterminée par la recherche d'un optimum économique d'ensemble, tout comme c'est le cas actuellement pour la conjugaison entre centrales thermiques, centrales hydrauliques au fil de l'eau et centrales hydrauliques à réservoir.
- 16) Les premières piles à uranium naturel et à graphite qui sont en construction et en projet devront évidemment fonctionner d'une manière aussi permanente que leurs conditions techniques de marche le permettront. Toutes les dispositions ont été prises pour que le déchargement et le rechargement des barres d'uranium puissent être faits en marche; le recuit du graphite sera seul en principe à impliquer des arrêts; on peut penser que ces centrales pourront atteindre une grande utilisation annuelle à une puissance sensiblement constante.
- 17) Il y aura un double intérêt à les maintenir constamment à pleine charge: d'une part un très grand prix s'attache à avoir le plus tôt possible de l'information sur les durées de vie des différents éléments de la pile; d'autre part la production du plutonium est importante du point de vue du programme ultérieur de réacteurs enrichis et de breeders; Une fois la pile construite, l'aspect information et l'aspect plutonium suffisent à justifier économiquement la marche de la pile, même si son énergie n'avait pas de valeur, par exemple dans les nuits de périodes de hautes eaux, quand des centrales hydrauliques déverseraient dans la même région, ou en cas de panne du groupe turbo alternateur alimenté par la pile. C'est pourquoi des dispositions qui n'ont encore jamais eu à être envisagées dans des centrales classiques ont été prévues pour pouvoir shunter la turbine et maintenir en fonctionnement la pile et les turbines à vapeur de ses soufflantes, sans que le groupe turbo alternateur ait à fonctionner.

Une telle marche forcée des piles est à prévoir pendant un certain nombre d'années et l'intégration dans le réseau de cette puissance constante ne fera pas de difficulté tant que la puissance des centrales nucléaires restera faible par rapport aux puissances appelées par la consommation.

- . . .
- 18) Mais il peut être intéressant de noter qu'il n'en sera pas toujours ainsi. Un jour viendra où le fonctionnement de la pile ne sera pas justifié seulement par l'information et le plutonium produits, mais où, en l'absence de besoins de kWh, on préférera ralentir ou arrêter la pile pour éviter la dépense de combustible nucléaire et le vieillissement des matériaux du réacteur.

A ce moment, les centrales nucléaires cesseront d'être mises systématiquement à la base du diagramme et on aura à chercher la meilleure répartition des puissances entre les différents types de centrales.

- 19) Dans le coût du kWh marginal tiré d'une pile interviendra ainsi, à côté du coût du combustible, la dépréciation de la pile du fait de sa marche et ceci

posera un problème nouveau en matière de centrales. En effet dans les centrales classiques il est couramment admis que la durée de vie des chaudières et des groupes ne dépend pas de leur temps de service, mais seulement de leur âge, les vieillissements étant à peu près les mêmes dans les périodes d'arrêt que dans les périodes de marche. Ainsi la dépréciation est-elle portée tout entière à la charge de la garantie de puissance, sans entrer dans le prix de revient marginal des kWh effectivement produits. Il est probable qu'il n'en sera pas de même dans les réacteurs et qu'une partie notable des dépréciations sera liée non pas à l'âge mais au temps de marche à plein flux et à pleine température.

- 20) Toute fourniture de kWh impliquera une certaine consommation de vie du réacteur.

Une partie des charges d'amortissement sera donc à rentrer non pas par une annuité constante liée à la puissance garantie, mais par une charge proportionnelle aux kWh produits.

- 21) Ceci réagira non seulement sur la conjugaison des exploitations des centrales nucléaires avec les centrales classiques, mais même sur la répartition des charges entre les différentes unités nucléaires elles-mêmes: si la fin de la vie d'un réacteur est en perspective par suite des effets de rayonnement, il y aura intérêt à économiser de la vie de ce réacteur en ne l'utilisant qu'à la pointe du diagramme de charge, de manière à conserver plus longtemps sa valeur d'usage au titre de la garantie de puissance.

Par exemple si deux réacteurs ont le même coût d'exploitation au point de vue des dépenses de fonctionnement et de combustible, il n'est pas indifférent, comme ce serait le cas pour une centrale classique, de faire marcher l'un ou l'autre; il faut éviter de faire marcher celui qui a déjà consommé le plus de vie dans les marches antérieures à grande puissance, de manière à tendre à égaliser leurs vies. C'est ainsi que l'on réalisera la maximisation de la somme des valeurs d'usage en garantie de ces réacteurs pendant les années qui suivront.

La répartition entre les centrales nucléaires et les autres sera naturellement aussi à adapter au fait qu'il y aura également intérêt à ne faire varier ni trop souvent ni trop vite les régimes de marche pour éviter les fatigues inhérentes aux changements de régime.

- 22) Nous sommes encore assez loin de l'époque où cette préoccupation de la vie consommée par le rayonnement pourra intervenir dans la répartition des charges entre les différents types de centrales. Mais en prévision de cette époque il pourra être intéressant de chercher dès maintenant à dégager de l'expérience des piles la part de dépréciation qui peut être liée seulement à l'âge et celle qui sera liée à la durée effective de marche en charge.





**FIN**