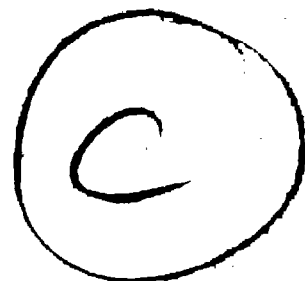


PRÉSIDENCE DU CONSEIL

M. Aumont

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE



ESTIMATION DES BESOINS ÉNERGETIQUES

P. AILLERET

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

Rapport C.E.A. n° 398

1955

Rapport C.E.A. n° 398

ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

par

P AILLERET

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

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

- Août 1955 -

2 ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES

par P. AILLERET (1)

1) Comme dans l'ensemble du monde la consommation d'énergie en France est caractérisée depuis la fin de la première guerre mondiale par une stabilité dans le domaine du charbon et par un développement rapide dans le domaine des produits pétroliers et de l'énergie électrique.

.
.
.

2) Tout bilan énergétique fait en adoptant des coefficients pour ramener à une commune mesure les tonnes de charbon, les kWh hydroélectriques, etc... ne décrit plus qu'un aspect d'un ensemble de phénomènes irréductibles par nature à une seule dimension. Mais il est possible d'en donner au moins deux aspects en indiquant comment évolue actuellement le total des énergies primaires (charbon, pétrole, gaz naturel, hydroélectricité) utilisées en France, suivant deux manières différentes de compter les équivalences:

3) Si l'on se réfère uniquement aux équivalents calorifiques, c'est-à-dire au principe physique de l'équivalence, ce qui a l'avantage de permettre des coefficients immuables, la chaleur qui aurait pu être produite par dégradation de toutes les énergies primaires utilisées en France a augmenté au taux moyen de 4,3 % par an au cours de la période 1948-1954.

4) Si au contraire on cherche l'équivalence en énergie mécanique ou électrique du total de ces sources primaires en affectant chaque année chacune d'elles du rendement réel qu'ont eu alors les transformations en énergie mécanique ou électrique faites à partir de ces sources primaires (par exemple on suppose la totalité du charbon transformé en énergie électrique avec le rendement même atteint dans toutes les centrales électriques pendant l'année correspondante) on trouve pour la même période un taux annuel moyen d'accroissement de 9,5 % par an.

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

- 5) L'un comme l'autre de ces pourcentages de 4,3% (équivalence calorique) et 9,5% (équivalence mécanique) représente un aspect de l'évolution de l'énergie dont le pays a disposé.

°
° °

- 6) Les consommations de charbon resteront probablement assez stables dans les années prochaines, une réduction progressive de la consommation des chemins de fer et du chauffage domestique pouvant compenser la progression de la demande de charbon par les centrales électriques.
- 7) La réduction de consommation de charbon par les locomotives va en effet se poursuivre en France, en partie par la dieselisation, en partie par l'électrification des chemins de fer, stimulée par le succès de la mise au point de la traction à 50 périodes.
- 8) La substitution du fuel au charbon dans le chauffage des locaux n'en est en France qu'à un degré beaucoup moins avancé que dans plusieurs autres pays, mais le processus influera sans doute pendant longtemps sur le marché charbonnier et dégagera des disponibilités de charbon dans la mesure où l'approvisionnement en fuel pourra être assuré.
- 9) De même les prévisions faites plus loin en ce qui concerne le développement des consommations d'électricité impliquent pour une part des substitutions variées par lesquelles l'électricité libérera des consommations industrielles et domestiques de charbon. Néanmoins le total de ces substitutions serait à la longue très inférieur aux besoins nouveaux de charbon nécessaire pour les centrales électriques si celles-ci devaient rester du type conventionnel et être alimentées uniquement en charbon.
- 10) Par ailleurs, la production des mines françaises est très peu souple, pour des raisons liées à la nature des gisements et à l'emploi de la main-d'oeuvre. Le marché charbonnier français passe facilement d'une situation excédentaire entraînant des journées de chômage - comme cela vient d'être le cas - à une impossibilité de satisfaire à la demande, comme c'était le cas quelques années plus tôt. La création de la communauté charbon-acier a modifié l'aspect de ce problème sous certains points de vue, mais il n'en reste pas moins que toute fluctuation des besoins de charbon réagira sur les importations, donc sur les mouvements de devises, la production des mines françaises devant peu varier par rapport au niveau de 55 millions de tonnes par an visé dans le grand effort de modernisation que vient de faire cette industrie, alors que les consommations se situent actuellement aux environs de 70 millions de tonne par an, le déficit étant d'ailleurs surtout en charbon à coke.
- 11) En somme il n'y a que peu d'aléa dans l'avenir du charbon et les variations probables de sa consommation en France sont très réduites en comparaison des variations probables des autres formes d'énergie.

°
° °

- 12) La consommation des produits pétroliers se développe à une cadence exponentielle de l'ordre de 7% par an. Ce mouvement est essentiellement lié au développement des transports et paraît appelé à se poursuivre. La consommation

sera d'ailleurs certainement influencée par le résultat des recherches pétrolières sur le territoire français. Si les espoirs qui sont apparus récemment se matérialisent, la consommation ne subira vraisemblablement pas les mêmes freins que si la plus grande partie du pétrole doit être importée, et son développement en sera d'autant plus grand.

- 13) C'est dans ce domaine du pétrole que se trouvent les inconnues les plus grandes et l'incertitude afférente au seul territoire français dépasse naturellement encore beaucoup les incertitudes d'avenir du bilan pétrolier mondial.

Les premiers succès des recherches du pétrole en France, la découverte de gisements déjà importants de gaz laissent penser qu'un grand développement de production est possible, mais les possibilités futures ne sont pas encore chiffrables.

La réaction de la production sur les prix et les charges fiscales rend d'autant plus difficile de supputer l'évolution probable de la demande, entraînée surtout dans le grand mouvement d'expansion des transports de toute nature.

.
. .

- 14) L'énergie électrique se prête à des prévisions plus aisées du fait que les usages électriques sont assez variés pour que des compensations statistiques puissent jouer, et du fait qu'elle peut être produite à base de différentes matières premières.

La consommation française d'énergie sous la forme électrique a été de 45 milliards kWh pendant l'année 1954. La production se répartit à parts égales entre l'hydraulique et le thermique.

- 15) L'évolution de cette consommation a subi de grands troubles au cours des deux guerres mondiales, mais en dehors de ces périodes elle marque, comme l'ensemble de la consommation mondiale, une tendance à se développer suivant une loi exponentielle à la cadence du doublement environ tous les 10 ans (soit un taux de croissance annuelle de 7 %).

.
. .

- 16) Les variations de l'activité industrielle se répercutent évidemment sur le taux de croissance de l'ensemble des consommations électriques. L'analyse de la corrélation entre les variations de l'activité industrielle et celles de la consommation électrique a montré que la consommation électrique en France se développe comme le produit de deux facteurs:

- l'un est un développement exponentiel régulier à un taux proche de 5 % par an qui traduit la tendance propre de l'électricité à étendre le champ de ses applications.

- l'autre est le volume de l'activité industrielle à la puissance 0,4. Autrement dit toute variation de 1 % en plus ou en moins de l'activité industrielle entraîne une variation de 0,4 % en plus ou en moins dans la variation des consommations électriques.

Cette formule à deux facteurs, établie il y a quelques années, continue à se vérifier assez bien.

- 17) C'est le fait que l'activité industrielle comporte elle-même un élément de hausse systématique qui conduit au total à la hausse générale de 7 % en moyenne par laquelle on peut caractériser la tendance générale de la consommation électrique dans le passé, périodes de guerre mises à part.

Mais la décomposition de la croissance en ses deux filières, outre son utilité lorsqu'il s'agit de comparer les plans propres à l'industrie électrique avec les plans d'activité générale du pays, peut aussi aider à prédire l'avenir. Il paraît en effet vraisemblable que l'activité industrielle générale prolongera sa tendance générale de croissance. D'autre part la tendance propre de l'électricité à se développer du fait de son rôle toujours plus important dans les techniques les plus nouvelles paraît aussi devoir se maintenir.

- 18) Dans le passé les applications de l'électricité se sont toujours relayées les unes les autres et tous ceux qui ont l'habitude d'analyser les consommations électriques sont persuadés que le mécanisme de relais continuera étant donné la grande souplesse de l'électricité pour résoudre un très grand nombre de problèmes différents.

Il n'a jamais été possible de bien prévoir d'avance quelles applications se développeraient, mais ceux qui en avaient tiré la conclusion que l'électricité approchait d'une saturation ont jusqu'ici toujours été démentis par les faits.

- 19) Le relais de nouvelles applications électriques par d'autres est la clé du processus de développement propre de l'électricité; la télévision, l'électrothermie, sont des exemples actuels de ces relais et l'évolution technique en cours ne paraît pas avoir de difficulté à alimenter ces relais par des applications nouvelles successives. La tendance générale de développement des besoins d'électricité paraît donc devoir se maintenir.

- 20) Ces motifs pour ne pas envisager une saturation valent pour tous les pays du monde. Pour la France une garantie plus grande qu'il n'y aura pas de saturation à bref délai résulte de ce que sa consommation par habitant vient seulement de dépasser le millier de kWh par an. Or il n'apparaît encore aucun signe de saturation dans certaines régions du monde très électrifiées où les consommations par habitant atteignent des chiffres 3 ou 4 fois plus élevés. Cela donne à la France une certitude encore plus grande que la saturation n'est pas proche.

- 21) La progression future probable de la consommation reste donc un développement exponentiel à une cadence voisine du doublement tous les dix ans.

°
° °

- 22) Néanmoins il est dans la nature des choses que nos prévisions soient entachées d'une incertitude d'autant plus grande qu'elles sont à plus long terme. La réponse à la question du développement dans vingt ans se traduirait donc mieux par une courbe de probabilités que par un chiffre ferme.

- 23) L'expérience du passé donne des informations sur ce degré d'incertitude par

l'examen de la dispersion des taux de croissance lorsque l'on considère séparément divers intervalles de temps et divers pays situés tous dans des conditions comparables de développement.

En éliminant les époques où chaque pays a été atteint par la guerre sur son territoire même, les courbes de développement de consommation des divers pays d'Europe de l'Ouest tracées en échelle logarithmique manifestent la même tendance générale à long terme, mais avec des irrégularités importantes entre les croissances dans les différents pays aux diverses époques.

Cette dispersion peut être appréciée en regroupant les courbes prises chacune successivement, d'abord à partir de 1925, puis à partir de 1926, 1927, etc., et en faisant partir toutes les courbes de la même origine.

- 24) On obtient ainsi un faisceau de courbes "en queue de cheval" qui caractérise la dispersion dans les cadences de croissance (2). On peut la mesurer en traçant les quartiles supérieur et inférieur, l'un qui n'est dépassé que dans 25 % des cas, l'autre au dessous duquel on ne tombe que dans 25 % des cas.
- 25) En faisant ce travail pour l'intervalle 1925-1954 et pour un ensemble de pays de l'Europe de l'Ouest bien comparables entre eux, on obtient à dix ans de distance de l'origine les dispersions suivantes:

Dans 25 pour cent des cas seulement, la consommation a été multipliée par plus de 2,1 et dans 25 autres pour cent des cas seulement elle n'a été multipliée que par moins de 1,7.

Ainsi la dispersion peut se caractériser par le fait que dans la moitié des cas la progression est restée dans l'intervalle ± 10 % autour de 1,9.
- 26) Le même calcul fait sur les développements de consommation des grandes régions des Etats-Unis et du Canada conduit sensiblement au même taux de dispersion des croissances sur un intervalle de 10 ans.
- 27) Les données statistiques sont un peu insuffisantes pour chiffrer de la même manière la dispersion des croissances sur un intervalle de 20 ans. L'écart paraît alors être voisin de ± 15 % avec une probabilité de 50 % d'être soit au dessus soit au dessous de cet intervalle.
- 28) Bien entendu ceci n'est extensible à l'avenir que si celui-ci comporte les mêmes causes d'irrégularités que dans le passé; or le risque n'est pas négligeable que les écarts ^{accidentels} soient plus élevés dans l'avenir que dans le passé; d'autre part, la tendance systématique ne sera peut-être pas la même.
- 29) Il paraît raisonnable d'en conclure que la zone la plus probable dans laquelle le rapport de la consommation dans 20 ans à la consommation actuelle a le plus de chances de se trouver, va de 3 à 4,5 mais avec des probabilités non négligeables d'être au dessous de 3 ou au dessus de 4,5.

. ° .

(2) Circulaire périodique n° 19 de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique, 2ème trimestre 1952 : Résumé des expériences du passé sur la croissance des consommations d'énergie électrique, pages 12 et 13.

30) A plus long terme l'écart probable s'accroît de plus en plus vite et il semble impossible de citer un chiffre quelconque ni pour la valeur probable ni pour la dispersion à l'échéance de la fin du siècle. Cela paraît d'autant plus impossible que le progrès technique a tendance à s'accélérer et que les incertitudes sur le dernier quart de ce siècle sont considérablement plus grandes que les incertitudes au cours des 20 prochaines années.

31) Tout ce que l'on peut dire c'est que nous ne prévoyons pas actuellement de forme nouvelle d'énergie qui viendrait concurrencer la forme électrique et que les besoins continueront à croître par des relais successifs d'applications nouvelles, de sorte qu'il est possible dans une certaine mesure d'extrapoler la croissance actuelle.

32) Bien entendu l'extrapolation peut se faire suivant bien des lois: admettre que la progression exponentielle du passé se poursuivra dans l'avenir n'est que la plus simple des formules d'extrapolation.

Il serait facile d'en bâtir d'autres, mais ferions-nous autre chose que déguiser notre ignorance sous un appareil mathématique médiocre en imaginant une loi logistique qui coïnciderait pour le passé avec une exponentielle, mais s'infléchirait ensuite pour traduire l'hypothèse d'une saturation future dont l'expérience ne décèle encore aucun signe? Les coefficients de cet infléchissement étant entièrement inconnus, nous n'ajouterions rien de réel par cette complication de la formule d'extrapolation.

33) La conclusion est donc que si les prix de l'énergie dans l'avenir ne subissent pas de trop grands écarts par rapport aux prix actuels, le développement exponentiel de la demande paraît devoir se poursuivre, l'intervalle de 3 à 4,5 pour le coefficient d'augmentation probable au cours des 20 prochaines années paraissent traduire une dispersion qui deviendrait ensuite beaucoup plus grande si l'on voulait hasarder des prévisions chiffrées pour des dates plus éloignées.

Toute prévision non assortie d'une estimation de la dispersion n'ayant pas vraiment une portée quantitative, il paraît préférable de se borner à dire que rien ne permet actuellement de penser que ce développement des besoins d'énergie électrique ne se poursuivra pas ensuite à une cadence analogue.

°
° °

34) L'humanité doit donc se préparer à faire face à des besoins considérables d'énergie et elle n'a par conséquent pas trop de temps devant elle pour se mettre à exploiter à grande échelle les stocks dont elle dispose sous forme d'uranium et de thorium - et peut-être les flux d'énergie énormes au milieu desquels elle vit, le rayonnement solaire par exemple.

35) L'énergie atomique arrive déjà à l'échelle des possibilités industrielles et ses prix de revient probables, encore très incertains, paraissent baisser en même temps qu'ils commencent à se préciser. Il est encore impossible de prévoir où ces prix se stabiliseront. S'ils se stabilisent un peu au dessus ou un peu au dessous des prix de l'énergie classique, l'énergie atomique jouera dans le premier cas le seul rôle de relais à l'épuisement des énergies classiques, dans le deuxième cas le rôle d'une source concurrente, mais sans que cela réagisse beaucoup sur les niveaux de consommation.

- 36) Il n'en serait pas de même si les prix de revient arrivaient à descendre bien au dessous des coûts des moyens conventionnels de production de l'énergie. Sans doute l'"élasticité" de la demande d'énergie est faible, aussi bien pour la force motrice que pour les usages domestiques; sans doute aussi une baisse massive du prix de production en gros ne ferait qu'une faible baisse relative du prix de revient dans la livraison au détail, étant donné que le coût de la distribution serait inchangé.
- 37) Mais il resterait la possibilité de fournir de gros blocs de puissance à très bas prix. Ainsi des débouchés spéciaux pourraient apparaître. La France a déjà vu l'influence de semblables possibilités lorsque le début de la technique des aménagements des chutes d'eau dans les Alpes y a apporté des énergies à très bas prix de revient qu'il était impossible d'exporter au loin. Des industries électrochimiques et électrométallurgiques se sont alors rapidement développées. Certaines d'entre elles, l'azote à l'arc par exemple, ont disparu lorsque les transports d'énergie ont permis de tirer davantage de valeur des énergies exceptionnellement bon marché dont on disposait dans quelques fonds de vallées.
- Mais la réapparition de sources éventuelles d'énergie à très bon marché pourrait rendre viables des procédés de fabrication très simples mais gros consommateurs d'énergie qui ne peuvent actuellement être utilisés.
- 38) De même dans le domaine du chauffage, des possibilités de consommations importantes existent dans les zones où les densités superficielles de consommation sont assez fortes pour que les coûts de distribution ne soient pas trop élevés.
- 39) On ne peut donc pas négliger les effets de l'élasticité de la demande: la consommation même d'énergie électrique pourrait prendre un développement supplémentaire important si un prix de revient très bas de l'énergie atomique lui permettait d'aller au delà d'un rôle de garantie contre une disette éventuelle future de combustibles classiques au delà même d'un rôle de substitution pure et simple à ces combustibles, jusqu'à étendre le champ des usages de l'énergie par une baisse importante du prix de revient de sa production par grosses quantités.

FIN