Y. L. BOULLIS

LE NUCLEAIRE EST-IL RENTABLE ?

DOSSIER ECONOMIQUE DE L'ELECTRONUCLEAIRE

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Ce livre ne veut pas être un réquisitoire sans appel contre l'électricité nucléaire. Il ne veut pas non plus être un plaidoyer sans réserves pour notre parc de centrales nucléaires. Il veut seulement être une étude économique , aussi honnête que possible , de l'ensemble des conséquences du choix du nucléaire . C' est donc de façon tout à fait consciente que de nombreux problèmes liés à ce choix (sécurité , caractère démocratique des choix , déchets , liens éventuels avec le nucléaire militaire , etc...) ne seront pas abordés ici sauf par le biais de leurs implications économiques.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 7

PREMIERE PARTIE : LE PRIX DE REVIENT DE L' ELECTRICITE NUCLEAIRE 11

GENERALITES 13

LES DONNEES OFFICIELLES 15

ANOMALIE ET OMISSIONS 21

L'anomalie 21

Première omission: l'endettement d'E.D.F 25

Deuxième omission: le prix de la recherche 30

Troisième omission: le déclassement 34

Conclusion 37

EVOLUTION 41

TABLE DES MATIERES

Le projet durée de vie 41
L'évolution du nombre de centrales à construire 46
L'effet dollar 48
L'effet pétrole 55
Conclusion 60

LE PRIX DE VENTE DE L'ELECTRICITE 64
Electricité nucléaire = électricité chère? 66
L'électricité nucléaire: un luxe pour la France 69

DEUXIEME PARTIE: L'IMPACT ECONOMIQUE DU NUCLEAIRE 71

INTRODUCTION 73

L'INVESTISSEMENT: QUEL MEILLEUR USAGE? 74
L'effet sur l'emploi 74
Energie produite et énergie économisée 76
Les effets induits 77
Le champ des économies d'énergie 78
Doit-on subventionner les économies d'énergie 79
Conclusion 84

LE CHAUFFAGE ELECTRIQUE INTEGRE 85
La consommation d'électricité du C.E.I 86
Le coût pour l'utilisateur 90
Autres conséquences économiques du C.E.I 93
Conclusion 94

LES EXPORTATIONS D'ELECTRICITE 95
Le coût marginal de production : qu' est ce que c'est? 97

TABLE DES MATIERES

Les conséquences de la théorie des coûts marginaux 97

De la théorie à la pratique 98

Bonne affaire pour E. D. F , mauvaise pour la France 99

CONCLUSION 101

CONCLUSION 103

La remise sine die de toute nouvelle construction 104

Et si le nucléaire redevenait rentable? 105

Côté consommation 106

Le nucléaire: un art coûteux 107

ANNEXES 109

1.PRIX DE REVIENT DE L' ELECTRICITE PRODUITE PAR LES CENTRALES SURGENERATRICES 111

Un surgénérateur: qu'est-ce que c'est? 111

L'économie du surgénérateur 112

Une réponse à la pénurie d'uranium 113

2.COMBIEN DE CENTRALES NUCLEAIRES RENTABLES EN 1985? 115

Puissance utile: la monotone 115

Evaluation du suréquipement 116

Et en 1986? 118

Conclusion 119

3.A COUT EGAL, QUELLE CENTRALE CHOISIR? 121

TABLE DES MATIERES

4.LE COUT DE L'ACCIDENT 124

Le coût des incidents 125

Le coût d'un Tchernobyl français 125

Les conséquences économiques du vrai Tchernobyl 126

Conclusion 128

5.EQUIVALENCES ENERGETIQUES 129

Consommation d'énergie 131

Indépendance énergétique 132

Efficacité énergétique 133

Conclusion 135

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 136

INTRODUCTION

Electricité nucléaire = électricité nécessaire

électricité nucléaire = électricité pas chère

Ces deux équations résument assez bien les postulats sur lesquels repose le formidable développement du programme électronucléaire français depuis le début des années 70. Le premier de ces postulats est que la croissance de la consommation d'électricité est inéluctable, il existe même une "loi" du doublement de la consommation électrique tous les dix ans. Pour répondre aux besoins, un programme électronucléaire très important est donc indispensable. Le second postulat est que le nucléaire est le moyen le moins onéreux de produire de l'électricité. Edictés par les gouvernants à l'époque du premier choc pétrolier, repris depuis lors par tous les gouvernements successifs, diffusés par l'ensemble des médias, clamés par E.D.F, le producteur national d'électricité, ces postulats ont fortement imprégné l'ensemble de la population française et ont été élevés au rang de vérité révélée, quasi-divine.

Et puis, le temps a fait son oeuvre. Les prévisions de croissance énergétique se sont montrées régulièrement surestimées, la consommation d'électricité n'a pas cru au rythme escompté malgré de gros efforts pour convaincre individus et entreprises qu'en dehors de l'électricité il n'y avait pas de salut. Les gouvernants, eux-mêmes, ont du se rendre à l'évidence : le programme électronucléaire avait été largement surdimensionné. On s'est contenté de ne plus construire que 2 réacteurs nucléaires par an, puis tout récemment un seul par an et peut-être même un tous les dix-huit mois.

Si la première équation, sur le caractère nécessaire, voire indispensable, d'un puissant programme électronucléaire s'est écroulée, il reste la seconde. Le nucléaire est économiquement préférable à tous les autres moyens de production d'électricité. Cet argument revient depuis plus de dix ans dans la bouche des responsables politiques et des décideurs. Elle est encore admise comme une vérité par la majorité de nos concitoyens. Dans un sondage de l'automne dernier (1), alors que 52% des français disaient qu'il ne faut plus construire de nouvelles centrales nucléaires, 55% de nos concitoyens restaient persuadés de la rentabilité économique de ce type de centrale. Cependant, les français n'ont que peu d'éléments pour juger de cette rentabilité.

Comment peut-on juger de l'intérêt économique de l'électricité nucléaire? On peut se contenter de calculer son prix de revient et de le comparer à celui de l'électricité fournie par d'autres sources. C'est ce qui sera fait dans la première partie de cet ouvrage en utilisant les prix officiels mais aussi en cherchant si ces prix sont calculés de façon économiquement réaliste.

Mais cette manière de juger de la rentabilité est réductrice. c'est pourquoi, dans une seconde partie,

nous essaierons de voir l' impact économique global de la production d'électricité nucléaire.

Quelques annexes terminent l'ouvrage. Elles concernent le prix de revient de l' électricité dans le cas des centrales surgénératrices , l' évaluation du nombre de centrales nucléaires économiquement justifiées en 1985, une méthode pour choisir une centrale lorsque les prix de revient sont équivalents, le coût d'un accident dans une centrale nucléaire et une étude des équivalences énergétiques.

En ce début d' année 1987 , toutes les données relatives à l' année 1986 ne sont pas encore disponibles . Nous utiliserons donc , de façon générale , des données de l'an 1985.

Les nombres entre parenthèses dans le texte renvoient aux références bibliographiques en fin d'ouvrage.

PREMIERE PARTIE :

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

GENERALITES

Que faut-il pour produire de l'électricité? La première chose, indispensable, est une usine de production. Elle peut être centrale thermique classique, centrale thermique nucléaire, usine hydroélectrique, voire marémotrice ou même centrale solaire thermique ou photovoltaïque; quoi qu'il en soit, il y a toujours une usine de production. Mais cette usine ne peut fonctionner seule. Il lui faut des hommes pour la faire produire, de l'huile pour en graisser les rouages, du papier pour y remplir les formalités administratives; en un mot, notre usine de production, il faut l'exploiter. Enfin, dans tous les cas, il faut l'alimenter avec un "combustible". Il peut être de l'eau ou du soleil, mais aussi un combustible plus classique: charbon, pétrole, gaz ou combustible nucléaire.

Le prix de revient de l'électricité produite sera composé de chacun des éléments que nous venons de décrire: prix de l'investissement qu'il a fallu faire pour construire la centrale de production, prix de

l'exploitation de cette centrale, prix, enfin, du combustible utilisé dans la centrale . Ce dernier n' est gratuit que dans le cas du soleil et de l'eau.

En réalité , ceci donne le prix de revient de l' électricité à la sortie de la centrale . Si on veut ce prix à l' arrivée chez le consommateur , il faut lui ajouter le coût du transport de l'électricité et celui de sa distribution . Mais ces coûts sont indépendants de la façon dont l'électricité est produite. Nous n'en tiendrons donc pas compte dans cette étude.

Les besoins en électricité ne sont pas répartis uniformément tout au long de l'année . En conséquence, toutes les centrales électriques ne sont pas utilisées en continu. Or, qu'elle fonctionne ou non, une centrale vieillit (elle vieillit cependant un peu moins vite si elle ne produit pas), le personnel d' exploitation est payé que la centrale soit utilisée ou non (mais il faut un peu moins d'huile dans les rouages d'une centrale à l' arrêt) . Seul , en principe , le combustible n' est utilisé que lorsque la centrale fonctionne . Ces différentes constatations font que le prix de revient de l' électricité varie avec la durée d' utilisation de la centrale qui la produit . Plus une centrale fonctionne souvent , moins l'électricité produite est chère . On a donc tout intérêt à ce que la production électrique soit aussi constante que possible d'un bout de l'année à l'autre (en jargon d' électricien, on dit qu' il faut écrêter la monotone) pour que le maximum de centrales soient utilisées de façon continue (on dit en base).

LES DONNEES OFFICIELLES

Périodiquement , un groupe de travail animé par le ministère de l'industrie calcule le prix de revient de l'électricité qui serait fournie par les différents types de centrales (au fioul, au charbon ou nucléaire) qu'E.D.F est susceptible de construire. C'est à partir de ces coûts de référence que s'effectue le choix du programme d'équipement d'E.D.F. Les évaluations faites reposent sur un certain nombre d'hypothèses qu'il faut réactualiser , d'où la réunion périodique du groupe de travail . Les calculs publiés en 1985 (2) sont donnés dans le tableau I . Ils concernent des centrales qui seraient mises en service en 1992. Dans ce tableau, on peut constater que 3 prix différents sont donnés, pour une même durée de fonctionnement , d'une part pour l'investissement nucléaire et d'autre part pour le combustible charbon . Ces trois prix sont les valeurs minimum , médiane et maximum d'une fourchette dans laquelle les experts estiment que les prix considérés devront se trouver. Ces fourchettes sont liées à différentes hypothèses sur la variation des coûts et à

TABLEAU I: Coûts officiels des kilowatts-heure nucléaire et charbon

Durée d'appel	Base (8 760 h)	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	11,4/12 /12,6	22,1/23,3/24,5	43,5/45,8/48,1
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,4	7,1	8,4
Total	22 / 23,5	37,5 / 40	68,5 / 73
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	16,5/20,9/24,9	16,5/20,9/24,9	16,5/20,9/24,9
Total	28 / 36,5	38,5 / 46,5	60 / 68,5
Désulfuration	2,9 / 2,4	3,3 / 4,4	4 / 6
Total avec désulfuration	31 / 39	41,5 / 51	64 / 75

Source : rapport de Monsieur Georges Sarre , rapporteur pour l'énergie au nom de la commission de production et des échanges de l' Assemblée nationale sur le projet de loi de finances 1986. (2)
Les 3 coûts pour l' investissement nucléaire et le combustible charbon sont les valeurs minimum , médiane et maximum d' une fourchette de prévisions . De même le coût de la désulfuration dépend du procédé employé. Pour les totaux, on donne les extrémités des fourchettes de prévision.

LES COUTS SONT EN CENTIMES DE 1985 PAR KILOWATT-HEURE

différents taux d'actualisation de ces coûts. En raison des fourchettes sur les prix élémentaires, les prix de revient globaux, tant pour le nucléaire que pour le charbon, sont des fourchettes dont les deux extrémités sont données dans le tableau. De la même façon, le coût de la désulfuration dépend du procédé retenu d'où la fourchette qui est donnée, là aussi.

Les prix de revient ainsi déterminés nous ont aussi permis de tracer les courbes de la figure 1. Les deux courbes donnent l'évolution du prix de l'électricité produite à partir du nucléaire ou du charbon en fonction de la durée de fonctionnement de la centrale. Chaque courbe est entourée d'une zone hachurée qui traduit l'incertitude sur la connaissance des prix. Les zones hachurées sont représentatives des fourchettes du tableau I.

Les deux courbes de la figure 1 se croisent pour une durée de fonctionnement d'environ 3 100 heures. On dit que c'est la durée de fonctionnement d'équilibre entre les deux procédés de production d'électricité. Pour une durée de fonctionnement supérieure, il est plus rentable que la centrale électrique soit nucléaire (c'est la courbe du nucléaire qui est au-dessous de celle du charbon). Pour une durée de fonctionnement inférieure à 3 100 heures, la production à partir du charbon devient plus rentable.

Comme les prix de revient sont entachés d'une incertitude représentée par les zones hachurées, la durée d'équilibre n'est pas un point mais une plage allant d'environ 2 000 heures (charbon cher et nucléaire peu cher) à approximativement 4 000 heures (nucléaire cher et charbon pas cher). Notons que les deux extrémités de la plage d'équilibre sont fort peu probables car c'est en partie les mêmes éléments qui rendent la production d'électricité par l'un et l'autre moyen plus ou moins chère. Il est impossible que ces éléments économiques (par exemple l'inflation ou le taux d'intérêt de l'argent) évoluent de façon différente pour

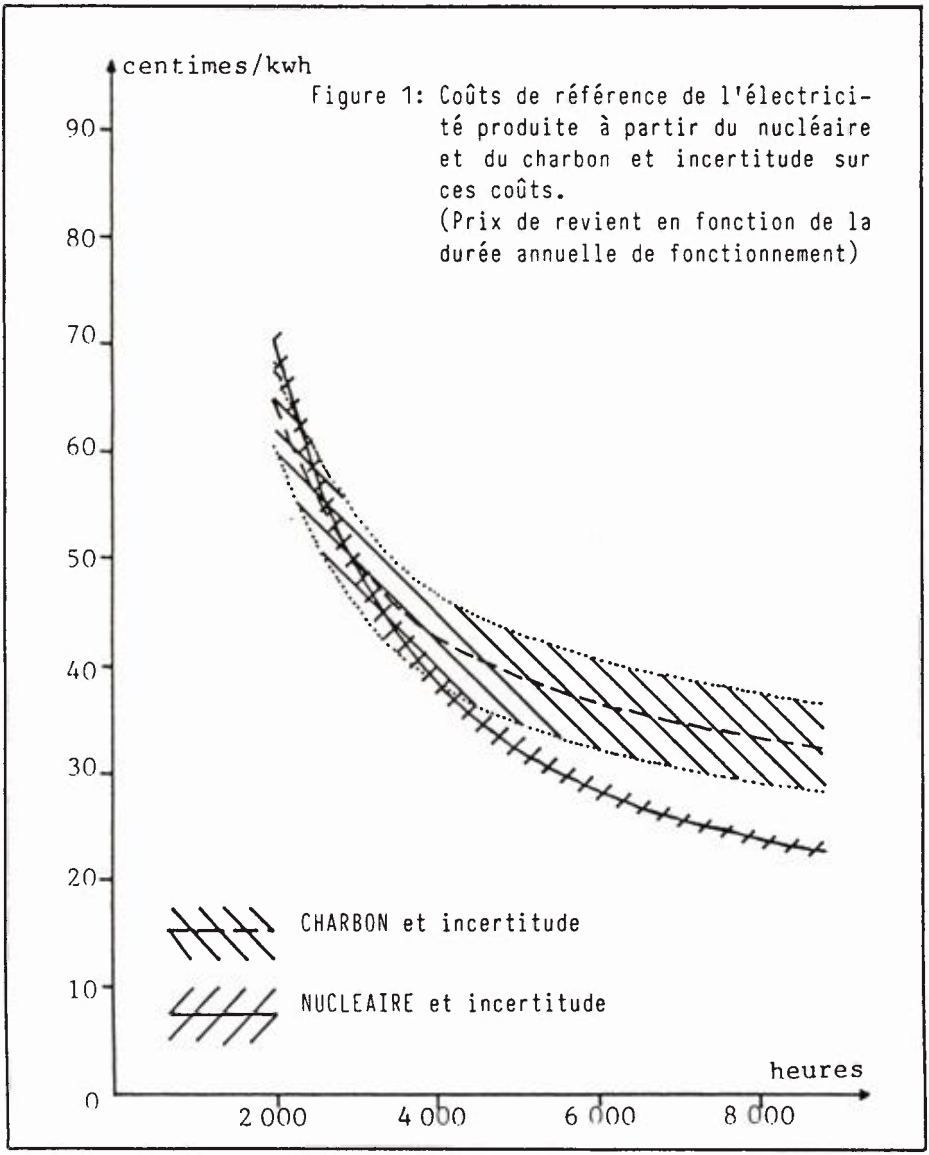


Figure 1: Coûts de référence de l'électricité produite à partir du nucléaire et du charbon et incertitude sur ces coûts.
(Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

le nucléaire et pour le charbon . En conséquence , la durée d' équilibre médiane (3 100 heures) est, de loin, la plus probable et , pour cette raison , dans la suite de cette étude, nous abandonnerons les plages d'incertitude sur les prix pour ne conserver que les valeurs médianes.

Dans les comparaisons officielles de prix de revient destinées à déterminer les durées de fonctionnement d'équilibre comme dans la figure 1, le prix de l'électricité fournie par le charbon ne tient pas compte de la désulfuration. Est-ce équitable?

Le problème que nous traitons ici n' est pas celui de l' intérêt de la désulfuration , qui est indéniable, ni même de ses impacts économiques, qui sont très probablement positifs car il vaut toujours mieux éviter une pollution qu' en réparer les dégats . Le problème traité est celui de l'égalité de traitement entre production électrique nucléaire et production électrique à partir du charbon . Il semble qu' il ne faille pas prendre en compte la désulfuration pour les comparaisons économiques car en tenir compte reviendrait à s' occuper de dispositifs anti - pollution pour ce type de centrale alors que rien d' équivalent n' est prévu pour éviter la pollution spécifique des centrales nucléaires (effluents et déchets radioactifs). Nous conserverons donc la méthode officielle de comparaison dans la suite de notre étude.

Les données officielles que nous venons d' évoquer ont été établies en prenant en compte un certain nombre d' hypothèses . Les plus importantes pour la suite de notre étude sont :

- deux tranches nucléaires de 1300 Mwe sont construites chaque année,
- de 1985 à 1992 , les cours mondiaux du charbon augmentent chaque année de l'inflation plus 1,5%,
- la durée de vie d' une centrale nucléaire est de 25 ans,

- le dollar vaut 7,5 francs,
- dans le prix du combustible nucléaire , l'uranium intervient pour 40% et le cycle de fabrication du combustible pour 60%.

L'évaluation officielle des prix de revient que nous venons d'exposer n'est pas pérenne. Depuis qu'elle a été réalisée, l'évolution des conditions économiques a modifié de nombreux paramêtres. Nous étudierons plus loin les conséquences de cette évolution. Cette évaluation n'est pas, non plus , exempte de toute critique. Dans le prochain chapître , nous mettrons en évidence les omissions faites dans le calcul du prix de revient de l'électricité nucléaire et une anomalie dans les données prises en compte.

ANOMALIE ET OMISSIONS

Dans le calcul officiel des prix de revient de l'électricité nucléaire, un certain nombre d'éléments ne sont pas du tout pris en compte ou le sont d'une façon dérisoire. Certains d'entre eux apparaissent dans les comptes d'E.D.F, pour d'autres, c'est dans le budget national ou dans l'héritage que nous laisserons aux générations futures qu'il faut aller les chercher.

Dans ce chapître, nous étudierons toutes ces omissions et tenterons de chiffrer l'influence de chacune. Nous essaierons aussi de voir ce que coûte réellement l'électricité nucléaire d'abord à E.D.F puis à la communauté nationale. Mais, avant toute chose, nous dénoncerons une anomalie dans le chiffrage officiel.

L'anomalie

Elle est mise en évidence par une étude de la C.E.E reprise, dans un article (3), par l'un des directeurs d'E.D.F. Le tableau II en est extrait.

TABLEAU II: Coût moyen actualisé du kwh en centième d'écu par kwh au 1/01/1983

PAYS / CENTRALES	ROYAUME -UNI	R.F.A	ITALIE	PAYS-BAS	BELGIQUE	FRANCE
NUCLEAIRE	2x 550 Mw	2x1 285 Mw	2x1 000 mw	2x 931 Mw	2x1 000 Mw	2x1 275 Mw
Investissements	2,78	1,87	1,51	1,83	1,51	1,20
Exploitation	0,53	0,51	0,33	0,39	0,53	0,48
Combustible	1,00	0,92	0,85	0,90	0,88	0,79
Total	4,31	3,30	2,96	3,12	2,92	2,47
CHARBON	2x 625 Mw	2x 694 Mw	2x 627 Mw	2x 600 Mw	2x 600 Mw	2x 580 Mw
Investissements	1,82	0,89	0,89	0,91	0,66	0,95
Exploitation	0,50	0,32	0,29	0,32	0,34	0,34
Combustible	2,91	2,97	2,85	2,88	2,86	2,88
Total	5,23	4,18	4,03	4,11	3,86	4,17
RATIO CHARBON/NUCLEAIRE	1,21	1,27	1,50	1,32	1,32	1,69

Hypothèses : fonctionnement des centrales à raison de 6 600 heures par an pendant 20 ans , mise en service initiale en 1990 , charges fixes du capital à 5% . Prix du charbon identique 0,28 écu/ MJ en 1990 + 1% par an . Le ratio CHARBON/NUCLEAIRE est le rapport des coûts des 2 modes de production d'électricité.
Au 1er Janvier 1983, l'écu valait 6,53 francs.

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

Cette étude est une comparaison de prix de revient de l'électricité pour des centrales électriques nucléaires ou à charbon fonctionnant autant de temps et ce dans les différents pays de la communauté européenne de l'époque (1983) qui avaient un programme électronucléaire.

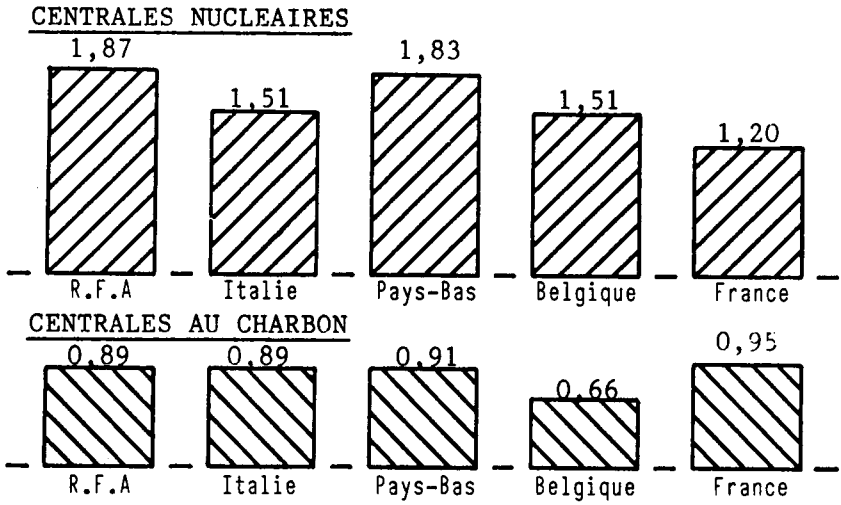
Pour chaque type de centrale et pour chaque pays, la première ligne donne la composition de la centrale utilisée pour l'étude. Par exemple, pour les centrales nucléaires françaises, le type retenu est une centrale de 2 réacteurs de 1 275 Mw électriques chacun.

Dans le tableau II , on peut tout de suite voir l'anomalie constituée par la Grande-Bretagne dont l'électricité est, semble-t-il, beaucoup plus chère tant pour le charbon que pour le nucléaire. Il est fort possible que cette anomalie soit un artefact dû au fait que sa monnaie n'appartient pas au système monétaire européen et que les conversions réalisées sont fantaisistes. En conséquence, nous ne tiendrons pas compte, par la suite, des données relatives à ce pays.

La seconde constatation que l'on peut faire concerne le poste "investissements" tant pour le nucléaire que pour le charbon. Elle est illustrée par la figure 2 dans laquelle chaque batonnet des diagrammes est proportionnel au coût d'investissement des différents pays pour le nucléaire comme pour le charbon. On peut y voir que le poste "investissements" pour le nucléaire est beaucoup plus faible en France que dans les autres pays puisqu'il ne représente que 79,5% de l'investissement dans le moins cher de ces pays. En contrepartie, c'est en France que le poste "investissements" est le plus élevé pour les centrales au charbon. La seule raison donnée pour justifier la faiblesse du coût d'investissement des centrales françaises est la standardisation de ces dernières. Cela peut-il expliquer, seul, une si grande différence de coût?

C'est douteux quand on considère que les centrales

Figure 2: coûts d'investissement au kwh dans différents pays de la C.E.E (en centièmes d'écus du 1/01/1983).



sont loin d'être complètement identiques (par exemple, les 34 réacteurs du palier 900 Mwe ont , en fait , 7 puissances différentes) et qu' il ne peut s' agir réellement de construction en série . On peut se demander si le faible coût d'investissement retenu par les prévisionnistes n' est qu'un leurre ou , pire , s'il n' est dû qu'à une économie de matériaux lors de la construction des centrales (d' après les descriptifs des différents paliers de centrales nucléaires, on peut constater des coefficients de sécurité de plus en plus faibles et , donc , des parois de plus en plus fines). On peut alors craindre que le faible coût d' investissement ne soit obtenu qu' au détriment de la sécurité des installations.

L'examen de la figure 2 permet de se poser une autre question. Est-il plausible que les ingénieurs capables de faire les centrales nucléaires les moins chères d'

Europe fassent aussi les centrales à charbon les plus chères alors que, dans les deux cas, les gros postes d'investissements que sont les travaux de génie civil, de mécanique classique (turbines, etc...) , ou de gros appareillages électriques (alternateurs , transformateurs, etc...) sont analogues?

De cette anomalie sur l'investissement découle la constatation la plus importante au plan économique qui est l'anomalie que représente le ratio charbon / nucléaire de la France par rapport aux autres pays (le ratio charbon / nucléaire est le rapport entre le prix de revient de l'électricité fournie par le charbon et celui de l'électricité d'origine nucléaire). Pour 3 pays, ce ratio est de l'ordre de 1,3, il est de 1,5 pour l'Italie et proche de 1,7 pour la France . Encore faut-il n'accorder qu'un faible crédit au ratio italien car ce pays n'a qu'un programme électronucléaire embryonnaire qui se réduit à 3 réacteurs existants (pour une puissance installée d'environ 1 200 Mwe) et à 2 réacteurs de 1000 Mwe en construction (4). Le ratio français est donc tout à fait anomalique.

De la constatation de cette anomalie , nous ne pouvons tirer aucune conclusion chiffrée. Par contre, nous pouvons penser que la rentabilité réelle de l'électricité nucléaire est plus faible que les chiffres officiels ne le disent.

Première omission: l'endettement d'E.D.F

En 1985, chaque fois que, pour payer votre électricité, vous avez donné 100 francs à E.D.F, 20 francs ont servi à payer les frais financiers liés à l'endettement d'E.D.F. Cependant, quand les organismes officiels estiment le prix de revient de l'électricité nucléaire, ils ne tiennent pas compte des frais financiers dûs aux emprunts faits pour réaliser le parc nucléaire. Ces frais financiers sont saupoudrés sur toute l'électricité qu'E. D. F vend quelqu'en soit l'origine alors

que c'est le programme électronucléaire qui en est la cause unique.

Bien sûr, on peut dire que la totalité de l'argent emprunté par E.D.F ne sert pas à payer les investissements des centrales nucléaires. Cet argent sert aussi, en particulier, à payer l'amélioration du réseau de distribution. Mais, pourquoi le réseau de distribution a-t-il besoin d'être renforcé de façon aussi considérable ? Essentiellement pour qu'il puisse absorber la pointe de consommation hivernale, et aussi pour pouvoir exporter de l'électricité vers les pays limitrophes. Or, la pointe hivernale de plus en plus marquée que nous connaissons est due au développement du chauffage électrique, lui-même encouragé depuis que tout est fait pour placer l'électricité fournie par les centrales nucléaires. Les exportations d'électricité sont, elles aussi, liées au développement de l'électronucléaire. Nous reviendrons plus loin sur ces deux sujets.

On peut aussi dire que si E.D.F n'avait pas construit des centrales nucléaires, il aurait fallu construire des centrales classiques au charbon et l'endettement, bien que plus faible, aurait existé. Ceci est faux car E.D.F paie, sur ses fonds propres, une partie importante de ses investissements. Si l'option charbon avait été choisie et si le choix avait été de satisfaire les besoins nationaux sans les exacerber (c'est à dire sans exportations d'électricité et sans incitation pour le chauffage électrique intégré), E.D.F aurait pu payer les investissements nécessaires sur ses fonds propres. On peut donc dire que l'endettement d'E.D.F est, directement ou indirectement, lié au programme électronucléaire.

Si on affecte les frais financiers d'E.D.F au prix de revient de l'électricité nucléaire, quelles en sont les conséquences?

L'endettement d'E.D.F est actuellement d'environ 220 milliards de francs (5) soit près de 2 fois son

chiffre d'affaire. Les frais financiers liés aux intérêts de ces emprunts représentent, quant à eux, environ 20% du chiffre d'affaire d'E.D.F. Pour calculer l'incidence de le prise en compte du surcoût dû à l'endettement sur le prix de revient de l'électricité d'origine nucléaire, il faut connaître plusieurs éléments.

Le premier est la part de l'électricité nucléaire dans la production électrique totale. En 1985, 65% de l'électricité était d'origine nucléaire. Le deuxième est le rapport entre prix de revient moyen de l'électricité et prix de vente. Nous n'avons pas d'éléments pour en juger. Nous prendrons donc l'hypothèse qui limite le plus le surcoût de l'électricité nucléaire c'est à dire que nous dirons que le prix de revient moyen est égal au prix de vente moyen. Cette hypothèse est très peu réaliste car elle signifie que les autres activités non vendables d'E.D.F, en particulier le transport et la distribution, sont à coût nul. Le troisième élément est l'ensemble des prix de revient du kwh pour les différents modes de production de l'électricité. Nous connaissons ces prix en 1984 pour l'électricité nucléaire, celle produite à partir du charbon et celle à base de fuel (6). Ils sont de 17,2 centimes pour l'électricité nucléaire, 34 centimes pour l'électricité fournie par le charbon et 123,3 centimes pour celle venant du fuel. Les centrales nucléaires ont fonctionné en moyenne 6 569 heures alors qu'on ne demandait aux centrales thermiques classiques que de produire pendant 1 508 heures en moyenne (beaucoup moins pour le fuel, un peu plus pour le charbon). La grande disparité des durées de fonctionnement explique l'énorme dispersion des prix de revient. Nous ne connaissons malheureusement pas le prix de revient de l'électricité hydraulique. Toujours pour favoriser le nucléaire, nous considérerons que ce prix est nul. Le prix de revient moyen de l'électricité est alors, pour 1984, de 18 centimes du kwh. En 1985, encore pour favoriser le nucléaire, nous dirons que le prix de revient moyen du kwh

est égal à celui de l'électricité nucléaire . Avec ces hypothèses, toutes favorables au nucléaire, le surcoût dû à l'endettement représente plus de 40% du prix de revient de l'électricité nucléaire.

Le tableau III donne les coûts médians de tableau I des données officielles en y ajoutant un surcoût lié à l'endettement basé sur 40% du prix de revient.

TABLEAU III: Prix de revient médians officiels (évaluation 1985) avec surcoût dû à l'endettement d'E.D.F.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	12	23,3	45,8
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,4	7,1	8,4
Surcoût dette	9,1	15,5	28,2
Total	31,8	54,3	98,8
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	20,9	20,9	20,9
Total	32,6	42,7	64,6

A partir de ce tableau, nous avons construit la figure 3. Sur cette figure, les 3 courbes donnent l'évolution , en fonction de la durée annuelle de fonctionnement de la centrale , des prix de revient officiels pour l'électricité nucléaire et celle d'origine charbon ainsi que le prix de revient pour le nucléaire en tenant compte du surcoût dû à l'endettement.

On peut voir que , bien que nous ayons choisi des hypothèses limitant au maximum le surcoût, la prise en compte de ce dernier modifie de façon considérable les conditions économiques de production. L'électricité d'origine nucléaire n'est plus rentable que si la cen-

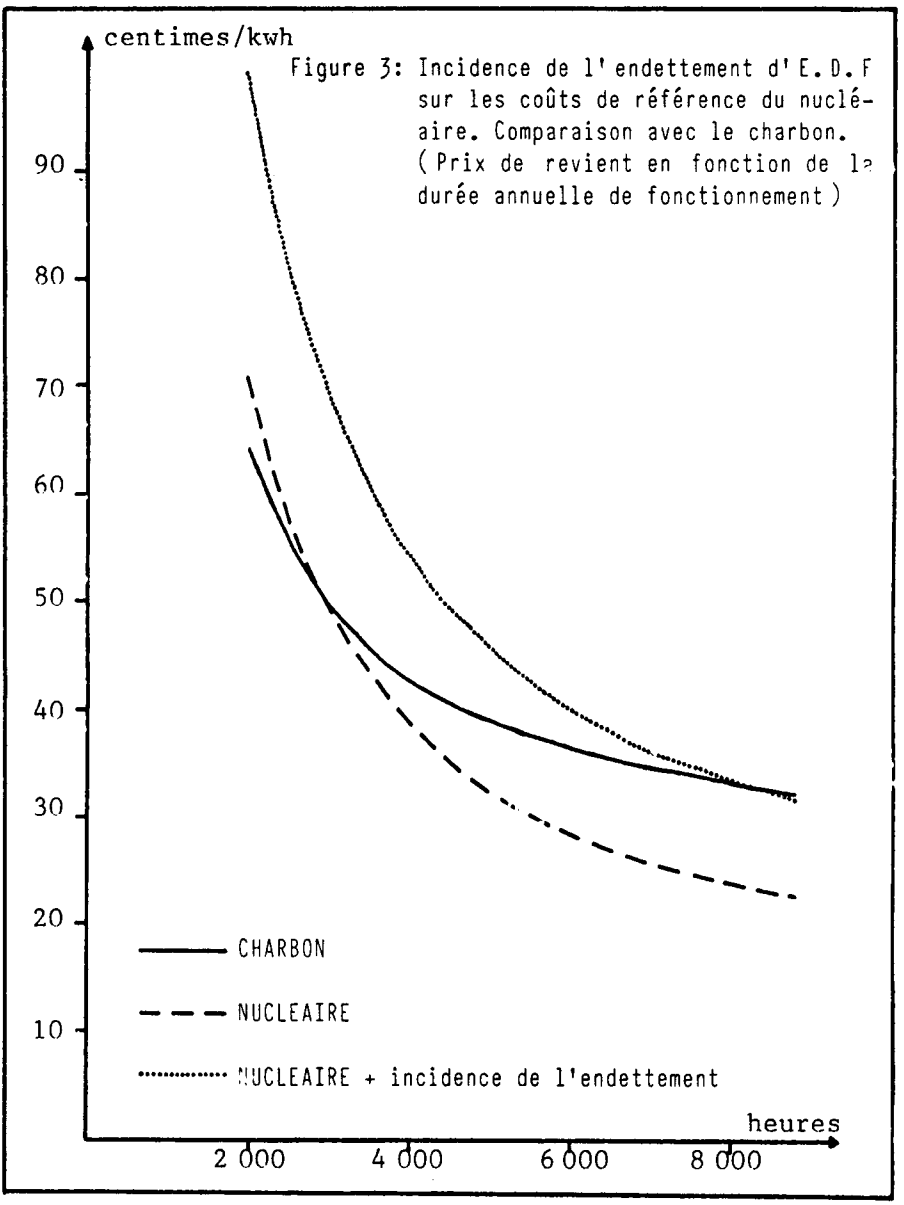


Figure 3: Incidence de l'endettement d'E.D.F sur les coûts de référence du nucléaire. Comparaison avec le charbon. (Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

trale fonctionne plus de 8 000 heures par an . Comme il est matériellement impossible qu'une centrale nucléaire fonctionne beaucoup plus de 7 000 heures par an (soit à 80% du temps maximum) en raison des différents arrêts imposés par la technologie et en particulier de ceux pour rechargement , les centrales nucléaires ne sont jamais économiquement justifiées car elles produisent une électricité plus chère que les centrales classiques au charbon . Une telle assertion doit être vérifiable. Nous verrons plus loin qu'elle l'est dans les chiffres donnés par E.D.F.

Cette première omission est la seule qui transparaisse dans la comptabilité d'E. D. F . Il y a pourtant d'autres omissions dans le calcul du prix de revient de l'électricité nucléaire et c'est l'ensemble de la communauté nationale qui en paie ou en paiera le montant.

Deuxième omission: le prix de la recherche

Quand un industriel veut calculer le prix auquel il doit vendre sa production , il cherche d'abord le prix de revient de ses produits . Pour que son affaire soit viable , il faut qu'il n'oublie aucun élément de ses prix de revient et , en particulier , il doit intégrer les frais de recherche menée pour mettre au point ses produits. C'est aussi ce qui se passe, en général, dans le domaine de l'énergie . Par exemple , les frais des recherches faites pour mettre au point les chaudières à condensation se retrouvent dans le prix de revient de ces chaudières et donc dans leur prix de vente.

Seule l'énergie nucléaire échappe à cette règle car si E. D. F construit les centrales , les exploite et en vend l'électricité , les activités de recherche sont réalisées par le Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A) et financées sur le budget de l'Etat.

Si la production d'électricité nucléaire était une activité industrielle classique, le montant des inves-

tissements faits pour la construction des centrales devrait se trouver augmenté d' une partie des dépenses faites depuis l' origine pour la recherche dans le domaine du nucléaire civil. Dans notre cas, il semblerait normal qu'E.D.F, qui ne paie pas les frais de recherche et ne participe pas au financement du C.E.A, n'intègre pas le coût de la recherche dans ses prix de revient. Mais nous avons vu que les coûts de référence sont établis par une commission animée par le ministère de l' industrie . Il est tout à fait anormal que ce groupe de travail ne prenne pas en compte les frais de recherche qui sont payés par la collectivité nationale.

Si on veut incorporer les frais de recherche dans le prix de revient de l'électricité nucléaire, comment le faire ? Le C.E.A a maintenant un peu plus de 40 ans et, depuis 40 ans, le budget de l'Etat paie les recherches qui y sont réalisées dans le domaine des centrales nucléaires . Pour avoir une bonne évaluation des frais de recherche à incorporer, il faudrait additionner, en les actualisant , toutes les dépenses faites dans ce domaine , puis les répartir entre toutes les centrales qui ont existé , qui existent ou qu' il est prévu de construire . Nous ne disposons pas des éléments nécessaires pour réaliser ce calcul. Par contre, comme pis-aller, nous pouvons comparer les frais de recherche de 1987 aux investissements dans l' électronucléaire qui seront faits cette année . Sans donner des résultats précis , ce calcul fournira un ordre de grandeur de l' incidence de l'incorporation des frais de recherche.

En 1987, une tranche nucléaire de 1300 Mwe doit être engagée. Ceci correspond à un engagement d'investissement de 10 milliards de francs . Dans le budget de la nation de 1987 , les activités civiles du C. E. A sont financées à hauteur de 6,88 milliards de francs (7). Ce sont les budgets du ministre de l' Industrie et du ministre délégué à la Recherche qui participent à ce financement. Le C.E.A dispose en outre de produits financiers directs.

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

Les recherches et développements menés avec cet argent ne concernent pas tous les centrales nucléaires classiques. Une partie va à la filière surgénératrice, une partie à la fusion contrôlée, une partie enfin à la recherche sur le retraitement et la gestion des déchets. Il semble qu'évaluer à 3 milliards de francs la part qu'il est logique d'attribuer aux centrales classiques n'est pas trop faux. Ceci revient à augmenter de 30% le poste investissements par rapport aux prix de revient officiels. Le tableau IV donne les prix de revient médians pour le nucléaire et le charbon en incorporant au nucléaire les frais de recherche.

TABLEAU IV: Prix de revient médians officiels (évaluation 1985) après incorporation des frais de recherche.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	15,6	30,3	59,5
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,4	7,1	8,4
Total	26,3	45,8	84,3
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	20,9	20,9	20,9
Total	32,6	42,7	64,6

C'est à partir de ce tableau qu'a été construite la figure 4. Les deux courbes en trait plein et en tiretés sont les mêmes que dans la figure 3. La courbe en pointillés correspond au nucléaire en intégrant les frais de recherche. L'incorporation de ces frais déplace la durée de fonctionnement d'équilibre de 3 100 heures à 4 800 heures. Il faut qu'une centrale électrique produise plus de 4 800 heures par an pour qu'il soit économiquement justifié qu'elle soit nucléaire.

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

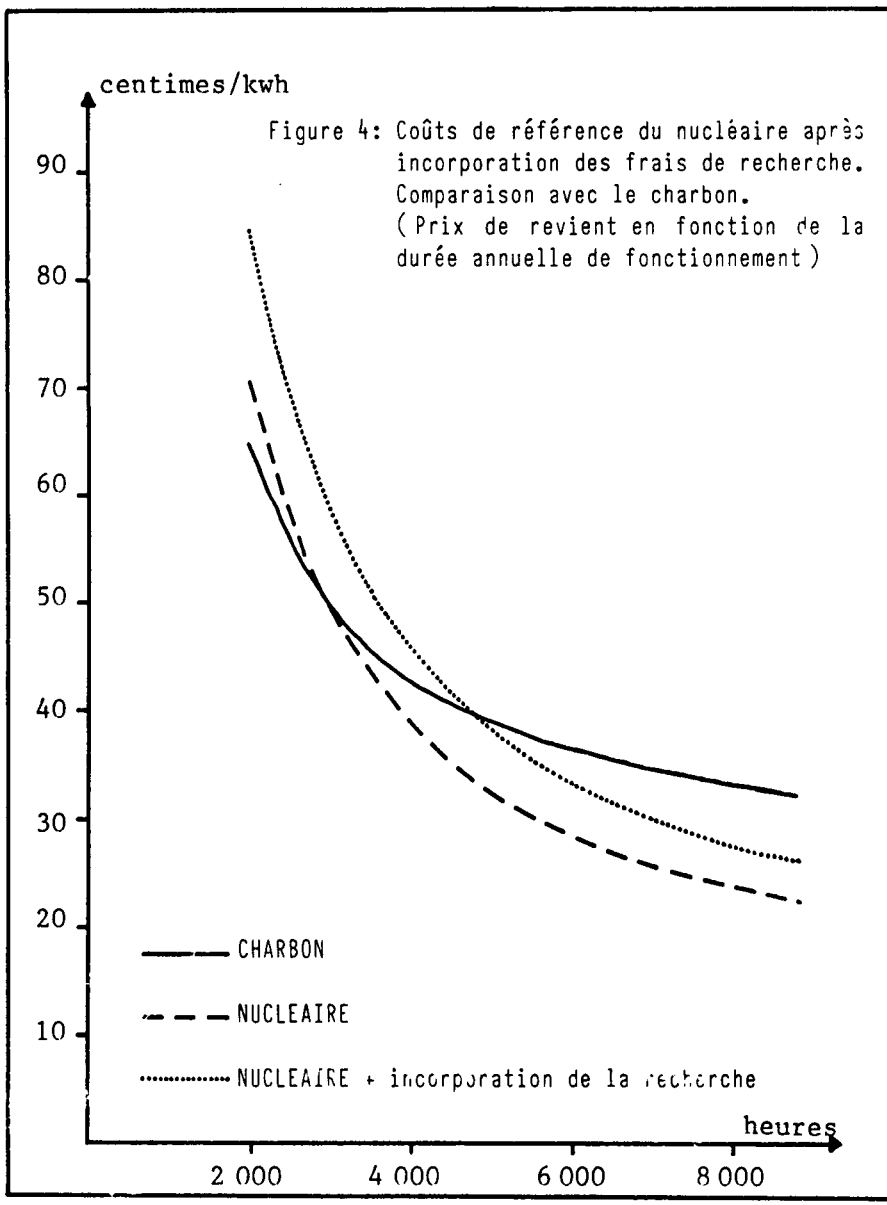


Figure 4: Coûts de référence du nucléaire après incorporation des frais de recherche. Comparaison avec le charbon. (Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

Rappelons avant de terminer le caractère approximatif de cette estimation de l'incorporation des frais de recherche . Elle veut seulement dire que ces frais sont omis dans le calcul des prix de revient et que l'incidence de leur incorporation ne serait pas négligeable.

Troisième omission: le déclassement

Quand un réacteur a fini sa période de vie active, on ne peut l'abandonner tel quel car il reste extrêmement radioactif. Il faut donc procéder à une opération dite de déclassement qui consiste à décontaminer totalement le site de façon à pouvoir le rendre dans son état initial ou à pouvoir le rendre apte à recevoir un nouveau réacteur nucléaire . Disons tout de suite que, jusqu'à présent , cette opération de déclassement n'a jamais été menée jusqu'à son terme sur un réacteur puissant en quelqu'endroit du monde que ce soit.

Ceci est dû à la relative jeunesse de la production d'électricité nucléaire qui fait que les réacteurs puissants arrivés en fin de vie active sont très peu nombreux, c'est dû aussi au fait que, dans une des techniques de déclassement , il est prévu de laisser le réacteur nucléaire se décontaminer en grande partie tout seul en n'y touchant pas pendant plusieurs dizaines d'années.

Le coût du déclassement n'est pas pris en compte de façon réaliste dans l'évaluation du prix de revient de l'électricité nucléaire , E.D.F ne faisant aucune provision sérieuse pour cette étape. Il est pourtant évident qu'au niveau de la communauté nationale , le déclassement doit être pris en compte pour juger de la rentabilité économique du nucléaire.

Comme nous l'avons déjà dit, l'opération de déclassement d'un réacteur de puissance n'a jamais eu lieu. L'évaluation de son coût ne peut donc faire que l'objet d'études prospectives. Les deux plus récentes dont nous

disposons datent de fin 1985 (8) et fin 1986 (9). Ces deux études sont dues à l'Agence pour l'Energie Nucléaire de l'O.C.D.E et leurs conclusions sont concordantes, ce qui est heureux pour le même organisme. La première de ces études conclut seulement que le coût du déclassement doit représenter "quelques pourcents du coût total de la production d'électricité tout au long de la vie utile de la centrale". La deuxième, plus récente, est plus précise et donne pour le déclassement d'une tranche REP de 1 300 Mwe une fourchette allant de 95 à 160 millions de dollars US de janvier 1984. Les deux études soulignent que les estimations comportent d'importantes incertitudes et que certains auteurs pensent que le déclassement sera, en fait, l'étape la plus onéreuse de la vie d'une centrale.

Nous retiendrons ici, pour évaluation du coût du déclassement, un montant de 1 milliard de francs pour une tranche de 1 300 Mwe. C'est approximativement le milieu de la fourchette citée ci-dessus. Ceci représente 10 % de surcoût d'investissement. Le tableau V donne les prix de revient médians pour le nucléaire et le charbon après incorporation au nucléaire du coût du déclassement.

La figure 5 a été construite à partir des mêmes considérations sur le coût du déclassement. C'est la courbe en pointillés qui correspond à l'évolution, en fonction de la durée de fonctionnement de la centrale, du prix de revient de l'électricité nucléaire après prise en compte du coût du déclassement.

Bien que l'importance du surcoût soit relativement faible, il a une influence non négligeable sur le déplacement de la durée d'équilibre. Il faut, en effet, qu'une centrale fonctionne plus de 3 600 heures, au lieu de 3 100, pour qu'il soit économiquement justifié qu'elle soit nucléaire.

Le coût de déclassement que nous avons utilisé ici est probablement largement sous-estimé car l'A.E.N de

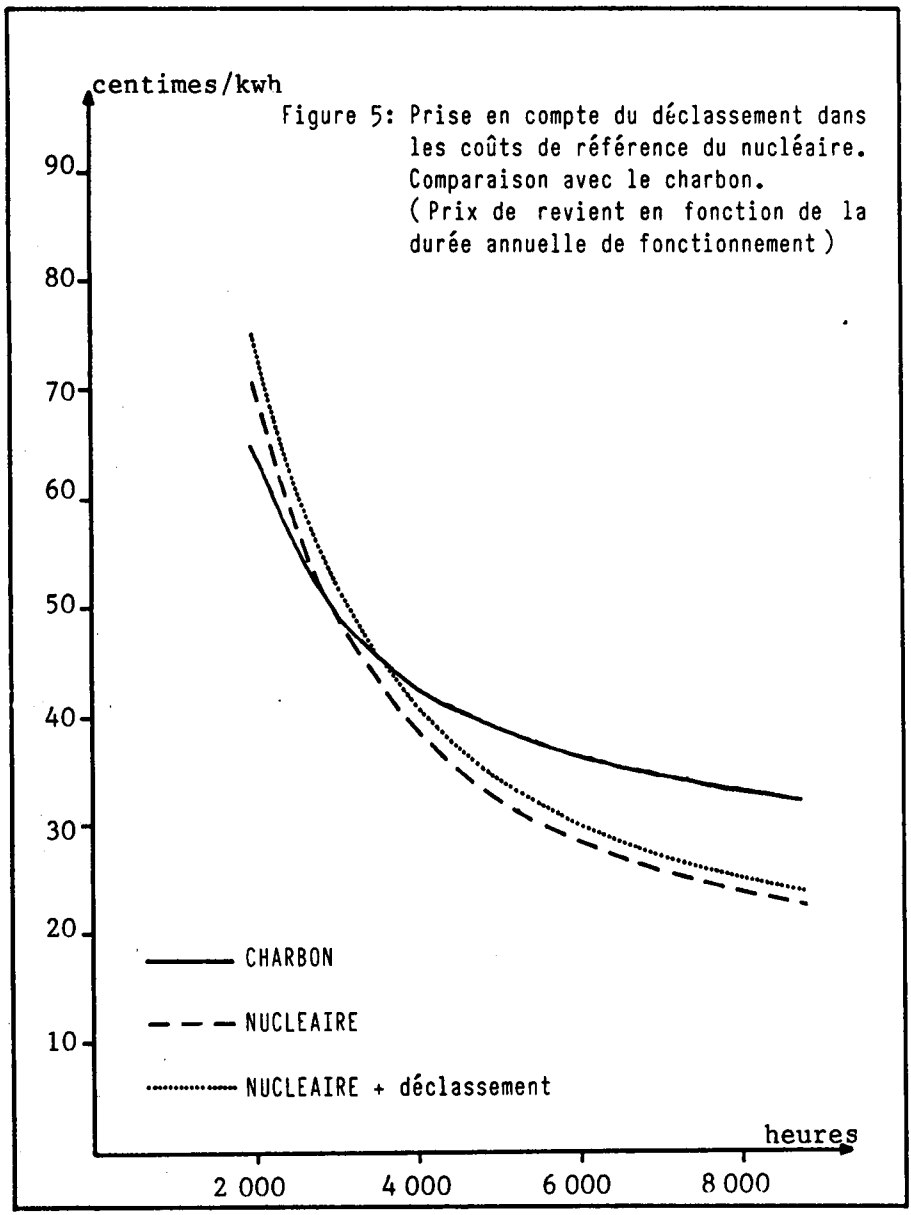


Figure 5: Prise en compte du déclassement dans les coûts de référence du nucléaire. Comparaison avec le charbon. (Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

TABLEAU V: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) après pris en compte du déclassement.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	13,2	25,6	50,4
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,4	7,1	8,4
Total	23,9	41,1	75,2
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	20,9	20,9	20,9
Total	32,6	42,7	64,6

l'O.C.D.E est une agence ayant pour fonction de favoriser le développement de l' énergie nucléaire . Elle doit donc, consciemment ou non, avoir tendance à minimiser les coûts. Il est donc très possible que la prise en compte du déclassement ait une incidence beaucoup plus forte que celle décrite ici.

Conclusion

Les différentes omissions dont nous venons d'étudier séparément les effets ont , en fait , une existence simultanée. On peut donc cumuler leurs conséquences et déterminer l' incidence résultante sur les prix de revient de l'électricité nucléaire. C'est cette opération qui est réalisée dans le tableau VI . Dans ce tableau, la comparaison avec le charbon est complétée en envisageant le cas d' une centrale au charbon équipée du procédé de désulfuration le plus onéreux retenu dans le tableau I des données officielles.

Ce résultat peut aussi s' exprimer au moyen d' une courbe . La figure 6 donne l' évolution, en fonction de la durée annuelle de fonctionnement de la centrale, du

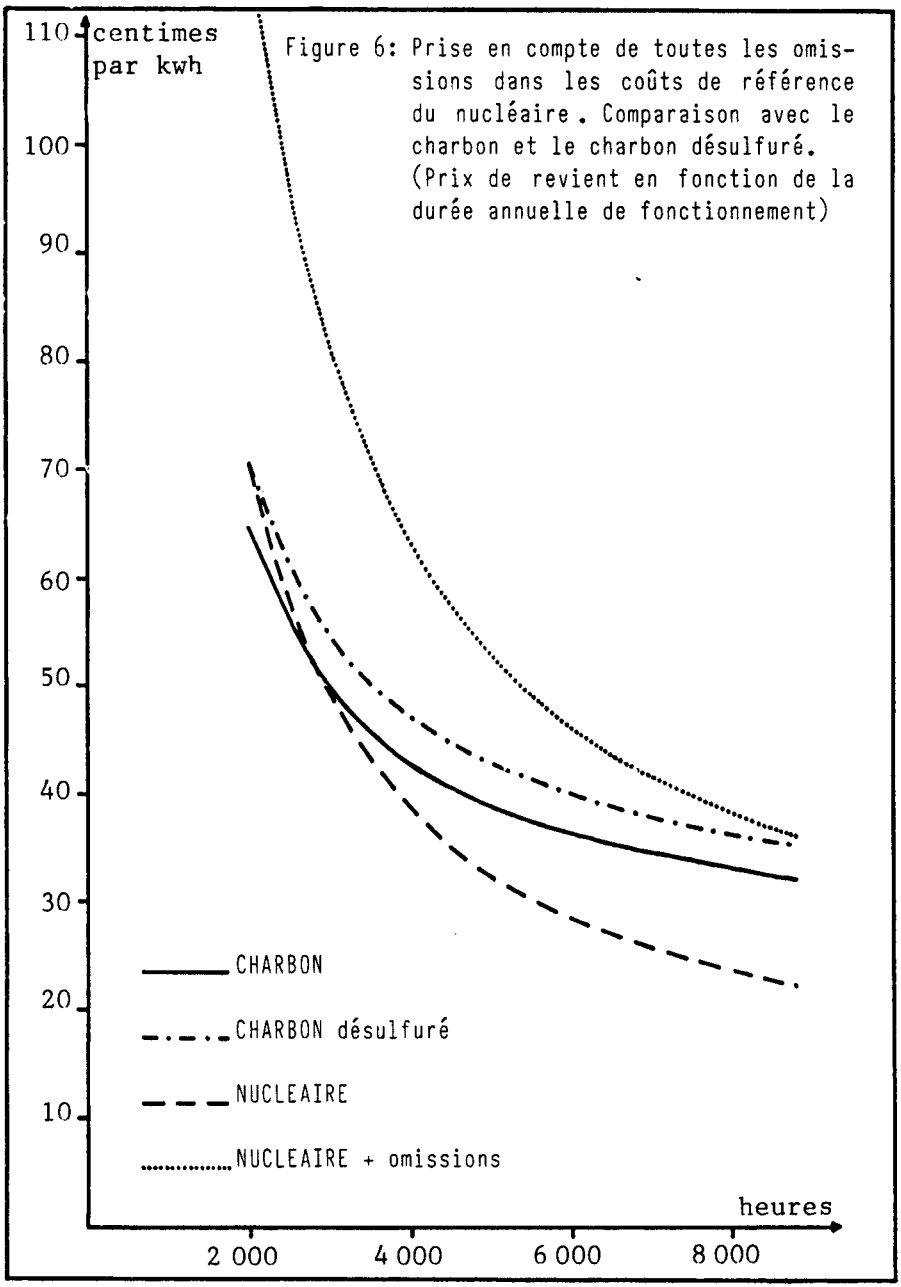


Figure 6: Prise en compte de toutes les omissions dans les coûts de référence du nucléaire. Comparaison avec le charbon et le charbon désulfuré. (Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

TABLEAU VI: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) après incorporation des différentes omissions. Comparaison avec le charbon avant et après désulfuration.(centimes de 1985 par kwh)

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	16,8	32,6	64,1
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,4	7,1	8,4
Surcoût dette	9,1	15,5	28,2
Total	36,6	63,6	117,1
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	20,9	20,9	20,9
Total	32,6	42,7	64,6
Désulfuration	2,9	4,4	6,0
Total avec désulfuration	35,5	47,1	70,6

prix de l'électricité nucléaire avant et après prise en compte des omissions. Cette évolution est comparée à celle de l'électricité fournie par le charbon. L'intégration des omissions rend l'utilisation de centrales nucléaires économiquement non justifiée quelque soit la durée annuelle de fonctionnement de la centrale.

Comme dans le tableau, un élément de comparaison supplémentaire a été ajouté. Il s'agit de la courbe donnant le prix de revient de l'électricité fournie par une centrale au charbon équipée d'un système cher de désulfuration en fonction de la durée de fonctionnement. L'électricité nucléaire est toujours plus chère que celle venant du charbon désulfuré.

Dans ce chapître, nous avons essayé d'intégrer au

prix de l'électricité nucléaire tous les éléments qui nous semblent devoir y prendre part et qui sont omis. Certains de ces éléments sont payés par la compagnie productrice d'électricité, E.D.F, d'autres par la collectivité nationale. Nous avons donc cherché à déterminer le vrai prix de l'électricité nucléaire pour l'usager même si celui-ci en paie une partie dans ses factures d'électricité et une autre par le biais de l'impôt.

La conclusion est claire. Aux conditions économiques de 1985, l'électricité nucléaire n'avait pas de justification économique vis à vis du charbon quelque soit la durée annuelle de fonctionnement de la centrale. Pire, l'électricité nucléaire revient toujours plus cher à la collectivité nationale que celle produite à partir du charbon dans une centrale équipée des moyens de désulfuration les plus sophistiqués.

Depuis 1985, les conditions économiques de production d'électricité ont changé. Nous verrons dans le prochain chapître les conséquences de cette évolution.

EVOLUTION

Depuis l'évaluation officielle des coûts de référence de 1985, différents paramètres ont changé. Nous étudierons ici l'influence des quatre principaux:

- le projet durée de vie,
- une seule tranche nucléaire annuelle (et peut-être même, une tranche tous les dix-huit mois),
- l'évolution du dollar,
- l'évolution des cours des combustibles fossiles.

Le projet durée de vie

Dans les caractéristiques prévisionnelles des centrales du parc électronucléaire français, il est prévu une durée de vie économique de 25 années. Cependant, en 1985, un responsable d'E.D.F annonçait une durée de vie probable de 40 ans pour les centrales nucléaires (10). Ajoutons que, dans son discours, il précisait que l'age moyen des centrales françaises était alors de 4 ans. C'était là, à notre connaissance, la première conférence publique se référant au projet durée de vie.

Deux exposés plus récents, présentés lors d'un colloque organisé à Paris par l'A.E.N de l'O.C.D.E et ayant pour thème l'extension de la durée de vie des centrales nucléaires, ont apporté des précisions sur ce projet.

Le premier (11) présentait les objectifs du projet, et tout d'abord ses raisons. Les centrales thermiques classiques ont souvent été atteintes d'obsolescence économique avant que leur état technique ne nécessite leur arrêt. Différents arguments permettent de penser qu'il n'en sera pas de même pour les centrales nucléaires. Premièrement, les investissements pour les centrales nucléaires sont et resteront lourds. Prolonger la vie des centrales permet de retarder des investissements de remplacement. Cela justifie des réparations ou des refontes importantes dont les coûts représentent une fraction significative de l'investissement initial. Deuxièmement, le potentiel d'évolution des réacteurs à eau pressurisée (R.E.P) ne laisse entrevoir ni une réduction importante des coûts, ni une amélioration sensible de la qualité. Les "vieilles" centrales resteront donc dans la course. Troisièmement, aucune autre filière ne semble devoir détrôner celle à eau légère. Les surgénérateurs ne pourront que difficilement rivaliser avec elle.

Le but du projet est de déterminer l'optimum de durée de vie des centrales nucléaires, celui-ci étant peut-être au-delà de 40 ans. Les objectifs techniques sont de faire une liste des matériels importants pour le fonctionnement des centrales et dont la réparation ou le remplacement serait difficile et coûteux pour en évaluer, éventuellement par de nouvelles recherches, la durée de vie et les possibilités de réparation ou de remplacement. Le projet doit aussi permettre de déterminer les conditions d'exploitation susceptibles d'atténuer l'effet de vieillissement et de proposer des critères de décision pour choisir entre réparation et remplacement d'un élément ou même arrêt définitif de la centrale.

Le deuxième exposé (12) donnait une application de ce projet au réacteur BUGEY 1. Cette tranche, entrée en service en 1972, est de la filière graphite-gaz. Le but est de lui donner une durée de vie de 30 ans. Les deux principaux facteurs de vieillissement du réacteur sont spécifiques de la filière graphite-gaz. Le premier est la corrosion des aciers par le gaz carbonique . Ceci a déjà imposé une diminution de la puissance habituelle de fonctionnement . Elle est de 470 Mwe pour une puissance nominale de 540 Mwe . Le second facteur est la corrosion radiolytique du graphite. Elle peut être diminuée en abaissant encore la puissance de fonctionnement . Avec la puissance actuelle , la centrale aurait une durée de vie totale d'environ 22 ans. Pour arriver à 30 ans de vie , il faudra utiliser des paliers de puissance plus faibles: 200 et 400 Mwe. Enfin, il sera nécessaire que la puissance de la tranche ne varie pas trop souvent: pas plus de 100 variations par an et pas plus de 2 par jour , un nombre total d' arrêts limité à 100 pour les 15 ans qui viennent. Pour amener le réacteur BUGEY 1 à 30 ans de vie , il faudra qu' il ait un fonctionnement aussi constant que possible et à puissance limitée.

Si le projet durée de vie réussissait et était appliqué aux centrales nucléaires françaises, quelles en seraient les conséquences économiques ? Nous avons vu que, dans le prix de revient officiel de l'électricité nucléaire (TABLEAU I), le coût de l'investissement est un élément primordial . Si la durée de vie augmente de 25 à 40 ans , on pourrait espérer une diminution de la part des investissements dans le prix de revient, ceux ci se répartissant sur une durée plus longue. Il n'est pas du tout évident que ce résultat soit atteint , ou, en tout cas, que la diminution soit importante. En effet , il est prévu que la prolongation de la durée de vie pourra entraîner des réparations ou refontes importantes et coûteuses dont le prix viendra s' ajouter à celui des investissements initiaux . On a vu aussi que , au moins dans le cas de BUGEY 1 , la prolongation

de la durée de vie sera obtenue par une diminution de la puissance donc de la production. Ceci augmentera la part des investissements dans le prix de l'électricité de la même façon qu'une diminution équivalente de la durée de fonctionnement . On ne peut donc pas conclure à une baisse sensible du prix de revient de l'électricité nucléaire.

L'application du projet durée de vie aurait une autre conséquence économique. Le remplacement des centrales aurait lieu au bout de 40 ans au lieu de 25. La plus ancienne des centrales nucléaires participant de façon importante à la production électrique est FESSENHEIM 1 . Elle a 10 ans et ne devrait alors être remplacée qu'en 2017. C'est donc au début des années 2010 que devrait être lancée la construction du réacteur de remplacement alors que ce lancement est actuellement prévu vers l'an 1995. On sait qu'il est prévu de lancer, au début des années 1990, des centrales nucléaires dont l'utilité pour la production d'électricité est très contestable mais qui avaient pour but essentiel de ne pas désorganiser les équipes de construction pendant les quelques années où il faudrait attendre la mise en chantier des centrales de remplacement . L'aboutissement du projet durée de vie mettrait à terre cet argument . Il ne peut être question de construire, pendant une vingtaine d'années , des centrales nucléaires dans le seul but de ne pas "perdre la main" en attendant que de nouveaux chantiers utiles se présentent.

Quelle est la probabilité pour que le projet durée de vie aboutisse? Il est difficile de répondre à cette question , mais on peut quand même donner des éléments de réflexion. Le premier est la durée de vie effective de centrales nucléaires déjà arrêtées . Deux réacteurs ont cessé toute production en juillet 1985 . CHINON A2 avait été couplé au réseau en 1965 et BRENNILIS en 1967 . Il ne faut cependant pas tirer de conclusions définitives de ces durées de vie de 20 et 18 ans . Les

TABLEAU VII: Arrêts des centrales FESSENHEIM 1 et 2 en 1986.

CENTRALE	DATES DEBUT	DATES FIN	CAUSES DE L'ARRET
FESSEN. 2	24/01	30/01	intervention sur les tambours filtrants du circuit d'eau de circulation.
FESSEN. 2	30/05	29/07	visite partielle et rechargement.
FESSEN. 2	29/07	24/08	avarie du rotor alternateur.
FESSEN. 1	2/08	29/09	visite partielle et rechargement.
FESSEN. 1	10/11	6/12	inspection des tubes des générateurs de vapeur et extraction de trois tubes pour examen.

deux centrales étaient de filières (graphite-gaz pour CHINON A2 et eau lourde pour BRENNILIS) différentes des R.E.P qui constituent l'écrasante majorité de notre parc. De plus, il s'agissait de prototypes.

Le deuxième est l'état dans lequel sont les deux plus vieilles centrales puissantes du type R. E. P : FESSENHEIM 1 et 2. Le tableau VII répertorie les arrêts subis par ces centrales en 1986 (13).

Les deux principaux arrêts sont liés au fonctionnement normal de la centrale . L'avarie du rotor de l'alternateur n'a rien de typiquement nucléaire . Seule l'inspection des tubes des générateurs de vapeur peut traduire un certain état de vétusté.

En conclusion, on peut dire que si ce projet aboutit, sa principale conséquence économique semble devoir être de repousser de 15 ans le remplacement des centrales nucléaires existantes.

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

L'évolution du nombre de centrales à construire

Depuis quelques années déjà, le débat était lancé sur le nombre de tranches nucléaires devant être engagées chaque année. L'un des arguments des tenants de la solution "deux tranches par an" était que l'investissement nécessaire pour une centrale annuelle est de 10% supérieur à l'investissement par centrale lorsque deux sont engagées par année. Ce surcoût de la centrale unique est lié à un moins bon plan de charge des différentes entreprises chargées de la construction.

Aujourd'hui, le gouvernement a pris conscience de l'énorme surproduction d'électricité qui découlerait de l'engagement annuel de deux tranches. Ses intentions, clairement affirmées, sont de n'engager qu'une tranche par an, voire une tranche tous les dix-huit mois.

Nous n'avons aucun élément d'appréciation du surcoût engendré par l'engagement d'une tranche nouvelle tous les dix-huit mois. Tout ce que l'on peut en dire est qu'il sera supérieur aux 10% annoncés pour une unique tranche annuelle.

Le tableau VIII donne les prix de revient médians de l'électricité nucléaire obtenus en ajoutant à l'évaluation 1985 le surcoût de 10% engendré par l'engagement annuel d'une seule tranche nucléaire. Ces prix sont comparés à ceux de l'électricité produite à partir du charbon.

La figure 7 a été construite avec le même surcoût. On peut constater que le passage de deux tranches par an à une seule déplace la durée de fonctionnement d'équilibre de 3 100 à 3 600 heures. Il faut qu'une centrale fonctionne plus de 3600 heures par an pour qu'il soit économiquement justifié qu'elle soit nucléaire.

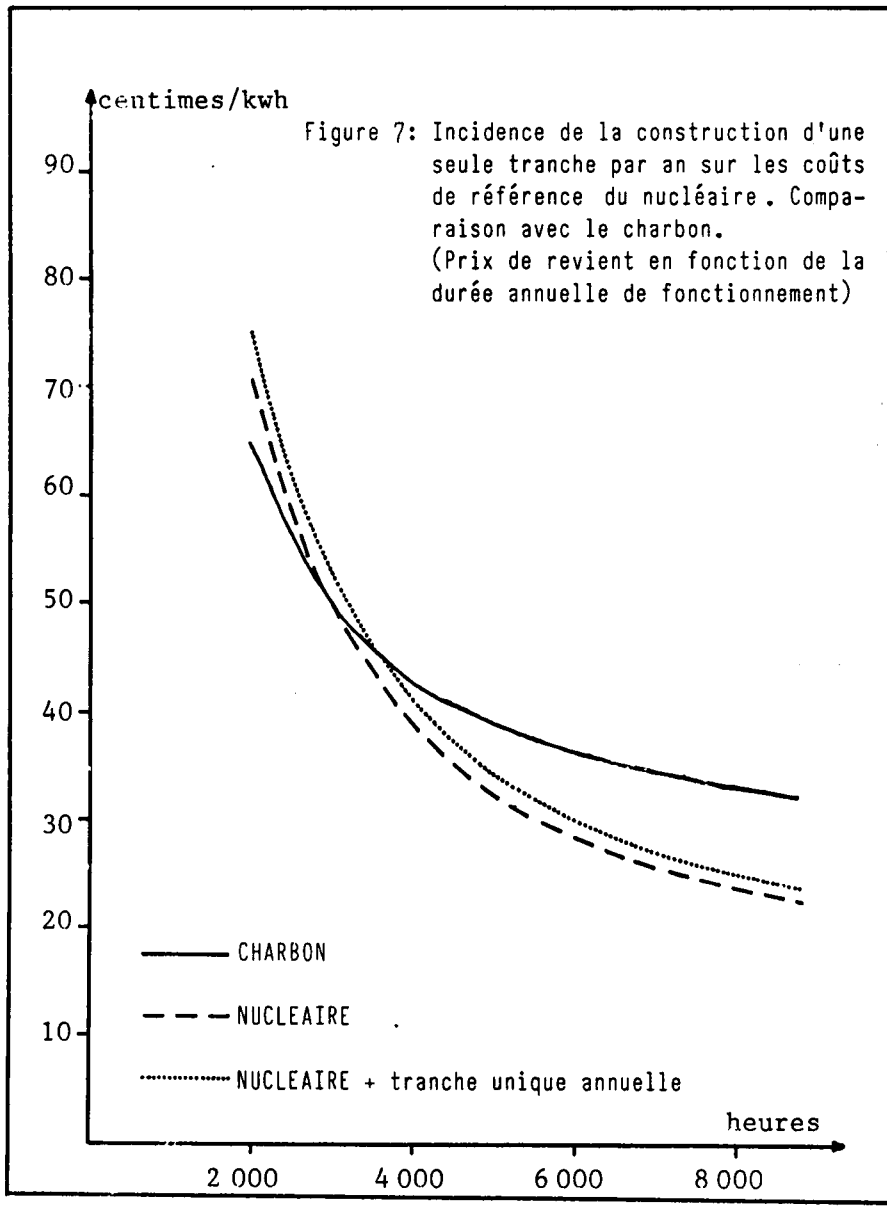


Figure 7: Incidence de la construction d'une seule tranche par an sur les coûts de référence du nucléaire. Comparaison avec le charbon.
(Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

TABLEAU VIII: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) après prise en compte du surcoût dû à la construction d'une seule tranche nucléaire par an.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	13,2	25,6	50,4
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,4	7,1	8,4
Total	23,9	41,1	75,2
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	20,9	20,9	20,9
Total	32,6	42,7	64,6

L'effet dollar

L' année 1986 a vu de grandes fluctuations et une forte baisse du cours du dollar américain. La figure 8 en donne une image d' après les cours de la bourse de Paris. Au cours de la première moitié de l'année 1987, le dollar a continué à fluctuer avec une tendance à la baisse , passant parfois au dessous de la barre des 6 francs, remontant ensuite aux environs de 6,20 francs.

L' effet de cette baisse se ressent sur les postes "combustible" tant pour le nucléaire que pour le charbon. Cependant , l' impact est différent sur les deux postes. En effet, nous avons vu que l'uranium (dont le prix est en dollars) ne représente que 40% du prix du combustible nucléaire, le reste étant le prix du cycle du combustible qui, lui, est réalisé en France et payé en francs . Pour le charbon , les cours mondiaux sont exprimés en dollars.

Comme on l' a déjà dit , le cours du dollar varie

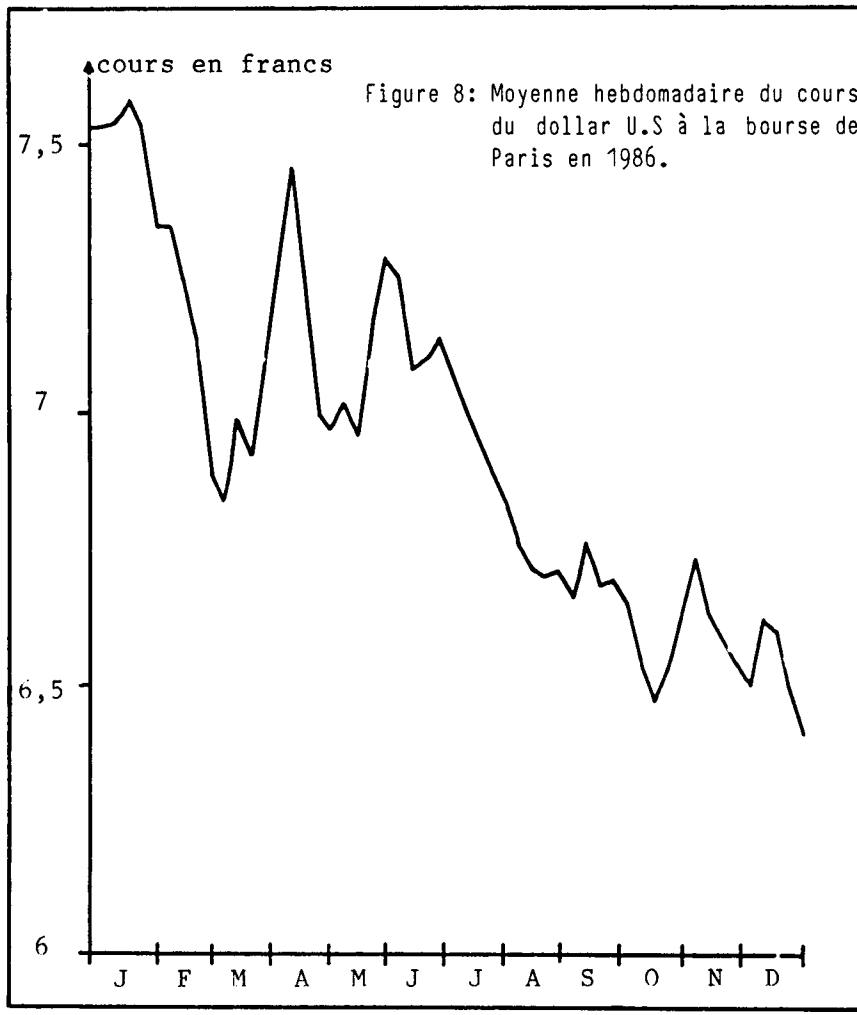


Figure 8: Moyenne hebdomadaire du cours du dollar U.S à la bourse de Paris en 1986.

fréquement. Nous avons donc décidé d'étudier ici l'effet non pas d'une valeur mais de trois valeurs différentes du dollar: 6,75 francs, 6,37 francs et 6 francs qui correspondent respectivement, par rapport au cours de 7,5 francs retenu pour l'évaluation des coûts de référence de 1985, à des baisses de 10%, 15% et 20% du cours du dollar.

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

Le tableau IX donne les nouveaux prix médians en tenant compte d'une valeur de 6,75 francs pour le dollar américain . Ce cours du dollar est aussi utilisé pour construire les courbes de la figure 9. Il y a une seule courbe pour le nucléaire car l'impact de la baisse du dollar sur le prix de revient de l' électricité nucléaire est très faible (baisse uniforme de 0,3 centimes/kwh) et les courbes de prix de revient de l' électricité nucléaire sont pratiquement confondues. Par contre , pour l' électricité produite à partir du charbon , les courbes de prix de revient de l' électricité sont disjointes.

TABLEAU IX: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) avec un dollar U.S valant 6,75 francs.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	12,0	23,3	45,8
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,1	6,8	8,1
Total	22,4	38,5	70,3
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	18,8	18,8	18,8
Total	30,5	40,6	62,5

Avec un dollar américain valant 6,75 francs au lieu de 7,5 francs , la durée de fonctionnement d' équilibre passe de 3 100 à 3 300 heures . Il est économiquement justifié qu' une centrale soit nucléaire que si elle fonctionne plus de 3 300 heures par an.

Avec une valeur de 6,37 francs pour le dollar américain , on obtient le tableau X et les courbes de la figure 10. Les deux courbes du nucléaire peuvent un peu

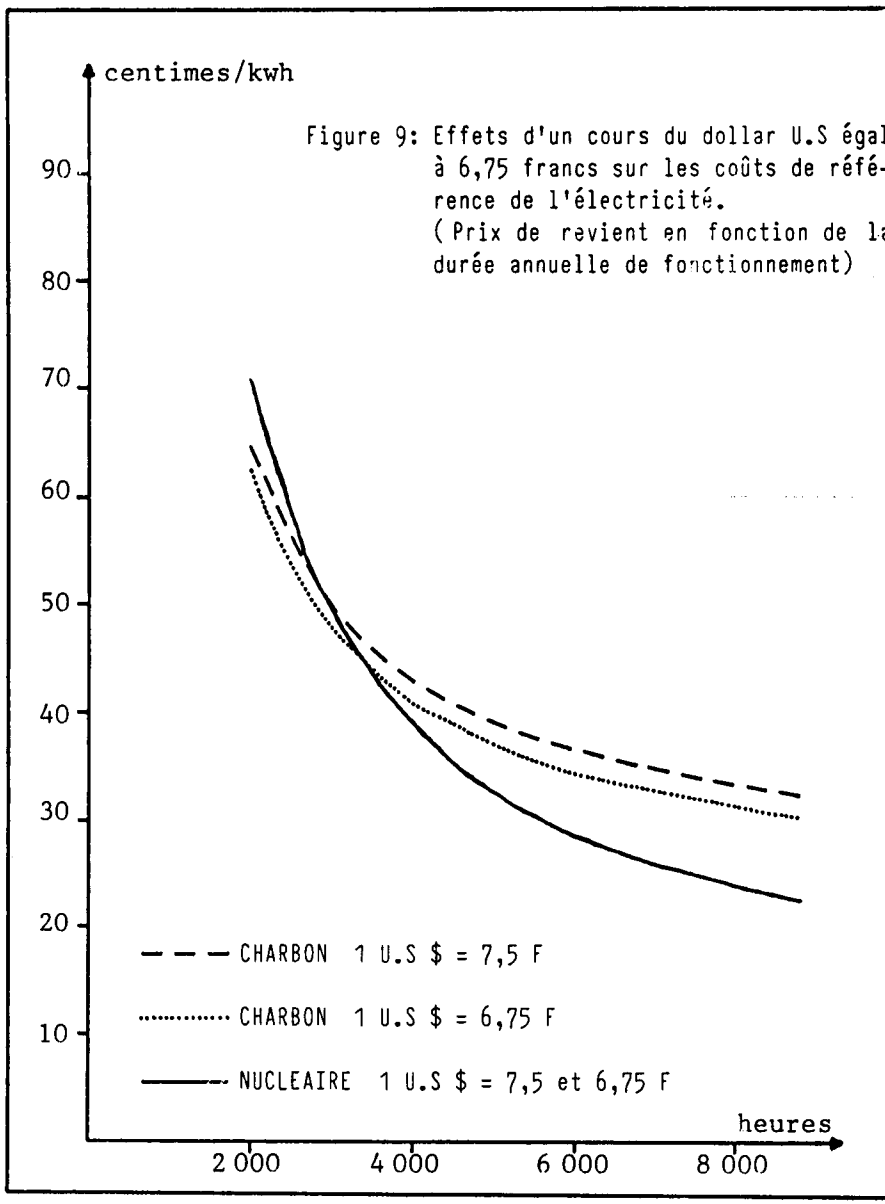


Figure 9: Effets d'un cours du dollar U.S égal à 6,75 francs sur les coûts de référence de l'électricité.
(Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

TABLEAU X: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) avec un dollar U.S valant 6,37 francs.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	12,0	23,3	45,8
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	6,0	6,7	7,9
Total	22,3	38,4	70,1
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	17,8	17,8	17,8
Total	29,5	39,6	61,5

mieux se distinguer. La durée de fonctionnement d'équilibre continue à progresser. Il faut maintenant qu'une centrale fonctionne plus de 3 600 heures par an pour qu'il soit économiquement justifié qu'elle soit nucléaire.

Le tableau XI et la figure 11 correspondent à une valeur de 6 francs pour le dollar américain . Les deux courbes du nucléaire se distinguent encore un peu mieux et il faut maintenant une durée annuelle de fonctionnement minimum de 3 900 heures pour justifier économiquement une centrale nucléaire.

On peut calculer de façon approximative la durée de fonctionnement d'équilibre pour toute valeur du dollar américain entre 6 francs et 6,75 francs . Cette durée, exprimée en heures , est obtenue en enlevant de 3 900, huit fois la différence , en centimes , entre le cours du dollar U.S et 6 francs.

Nous ne pouvons préjuger de l'avenir des cours du dollar américain . Tout ce que nous pouvons dire est qu'un dollar faible enlève beaucoup d'intérêt économique à l'électricité nucléaire.

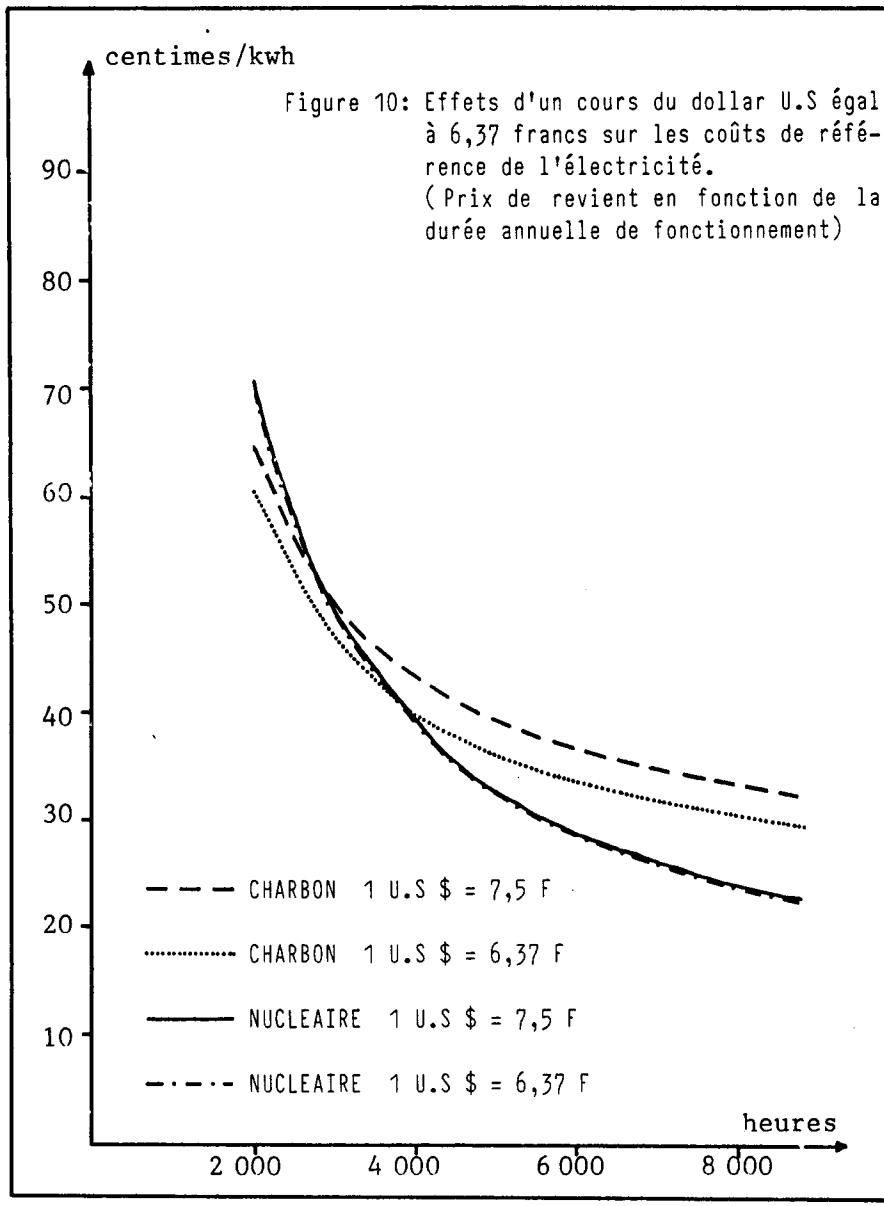


Figure 10: Effets d'un cours du dollar U.S égal à 6,37 francs sur les coûts de référence de l'électricité.
(Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

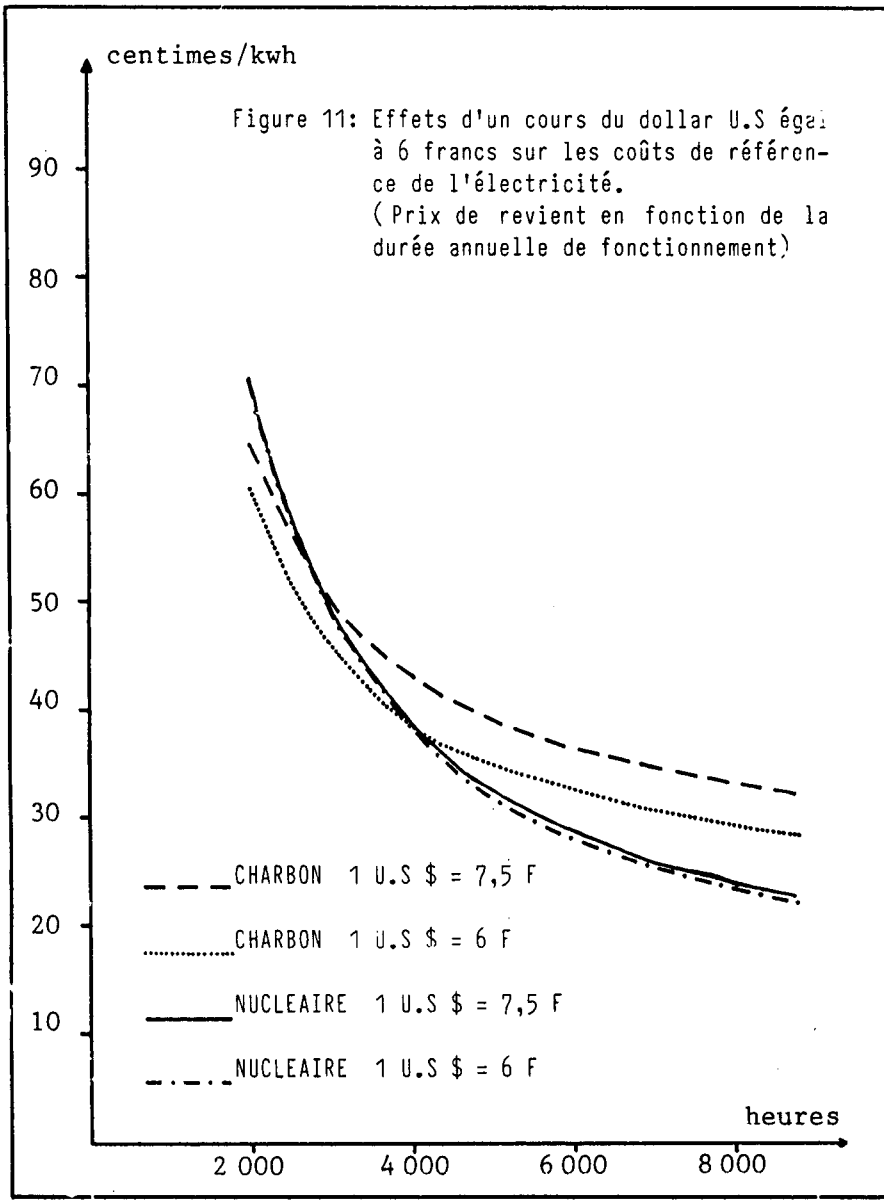


Figure 11: Effets d'un cours du dollar U.S égal à 6 francs sur les coûts de référence de l'électricité.
(Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

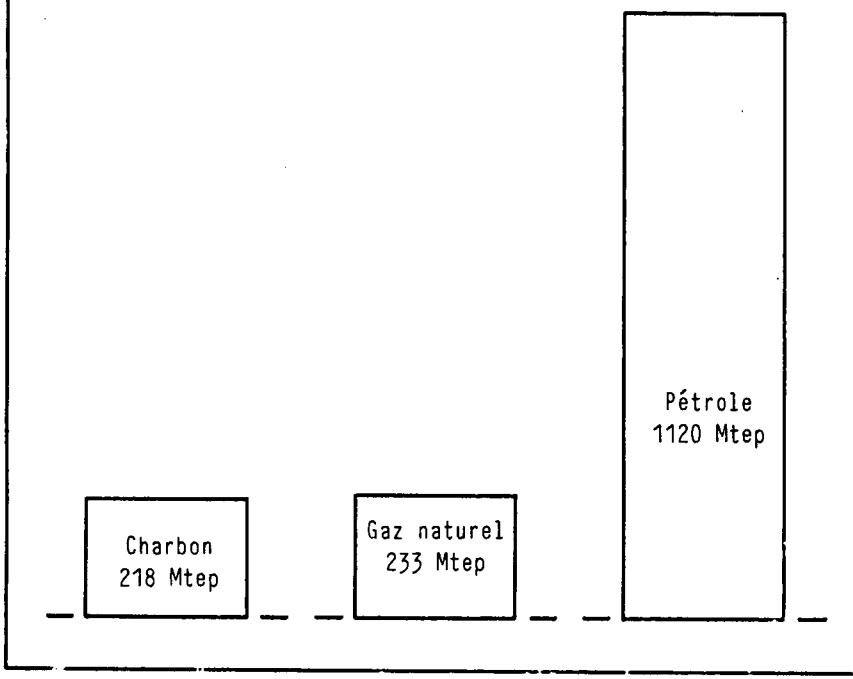
TABLEAU XI: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) avec un dollar U.S valant 6 francs.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	12,0	23,3	45,8
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	5,9	6,6	7,7
Total	22,2	38,3	69,9
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	16,7	16,7	16,7
Total	28,4	38,5	60,4

L'effet pétrole

A l'époque où les données officielles ont été établies, le prix officiel du pétrole était de 26 U.S $ pour le baril du brut de référence. Pourquoi cette précision alors que nous comparons des centrales nucléaires et des centrales au charbon ? La figure 12 est une illustration de la réponse à cette question. Elle donne les différentes quantités de produits sur lesquelles a porté le commerce international de l'énergie en 1985 (14). Ces quantités sont toutes exprimées en millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep), c'est à dire en contenu énergétique équivalent. Les équivalences retenues pour les conversions sont: 1 milliard de m^3 de gaz naturel est égal à 1 Mtep, 1 million de tonnes de charbon est égal à 0,65 Mtep. Il faut préciser que, pour le pétrole, on considère le commerce du pétrole brut plus celui des produits raffinés. Sur la figure 12, le commerce de l'électricité n'apparait pas. ceci a deux raisons : la première est que les quantités d'énergie concernées sont beaucoup plus faibles, la seconde est

Figure 12: Commerce international de l'énergie en 1985.
Quantités échangées.
Les quantités sont exprimées en Mtep.



que , par nature , le commerce international d'électricité ne peut être qu'un commerce de proximité qui n'est pas vraiment soumis aux règles normales . On peut voir la large prééminence du pétrole dans le commerce international de l' énergie puisqu' il représente plus de 70 % du total . En conséquence , le prix du pétrole est un prix directeur pour l'énergie, c'est à dire que les prix des autres produits énergétiques suivent, avec du retard et parfois une certaine atténuation, les variations des cours internationaux du pétrole.

En 1986, ceux-ci ont été particulièrement chahutés. Partis de 26 U.S $ le baril (un peu plus de 150 litres

de pétrole), ils sont tombés au-dessous de 10 U.S $ au mois de juillet avant de remonter, après l'accord de l'O.P.E.P (Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole), à 18 U.S $ le baril en fin d'année. Depuis, l'O.P.E.P fait des efforts pour maintenir ce cours en limitant la production. Elle est aidée par la tension dans le golfe persique mais l'éventualité d'un nouvel effritement subsiste.

L'effet pétrole ne s'est pas encore fait sentir sur les cours internationaux du charbon. La figure 13 montre, d'après l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (I.N.S.E.E)(15), l'évolution du prix de vente du charbon importé à usage industriel en 1986 (charbon est pris ici au sens général de combustible solide). Cette figure est réalisée en prenant pour indice 100 la valeur moyenne du charbon pendant l'année 1985. La monnaie de référence étant le franc, cette figure intègre les effets de l'évolution du dollar et ceux de l'évolution des cours internationaux du charbon. Pour tenter de différencier les deux, la figure comporte aussi (en pointillés) l'évolution du dollar en prenant pour référence 7,5 francs, la valeur retenue pour les données officielles. Ce choix étant discutable, c'est plus la valeur relative des courbes qui apporte un enseignement que les courbes elles-mêmes.

On peut dire que, jusqu'à présent, l'effet pétrole n'est pas évident. En disant que cette évolution va se produire, nous faisons donc de la prospective. Rappelons cependant, avant de continuer, que les données officielles tablaient, elles, sur un prix moyen du charbon en 1986 supérieur à l'indice 104 (100 + l'inflation + 1,5% en argent constant).

Entre 26 U.S $ et 18, le pétrole a baissé de 30%. Nous supposerons ici que ceci entraînera, à moyen terme, une baisse de 25% des autres énergies, en particulier de l'uranium et du charbon. C'est sur cette hypothèse qu'est bâti le tableau XII. C'est aussi à partir

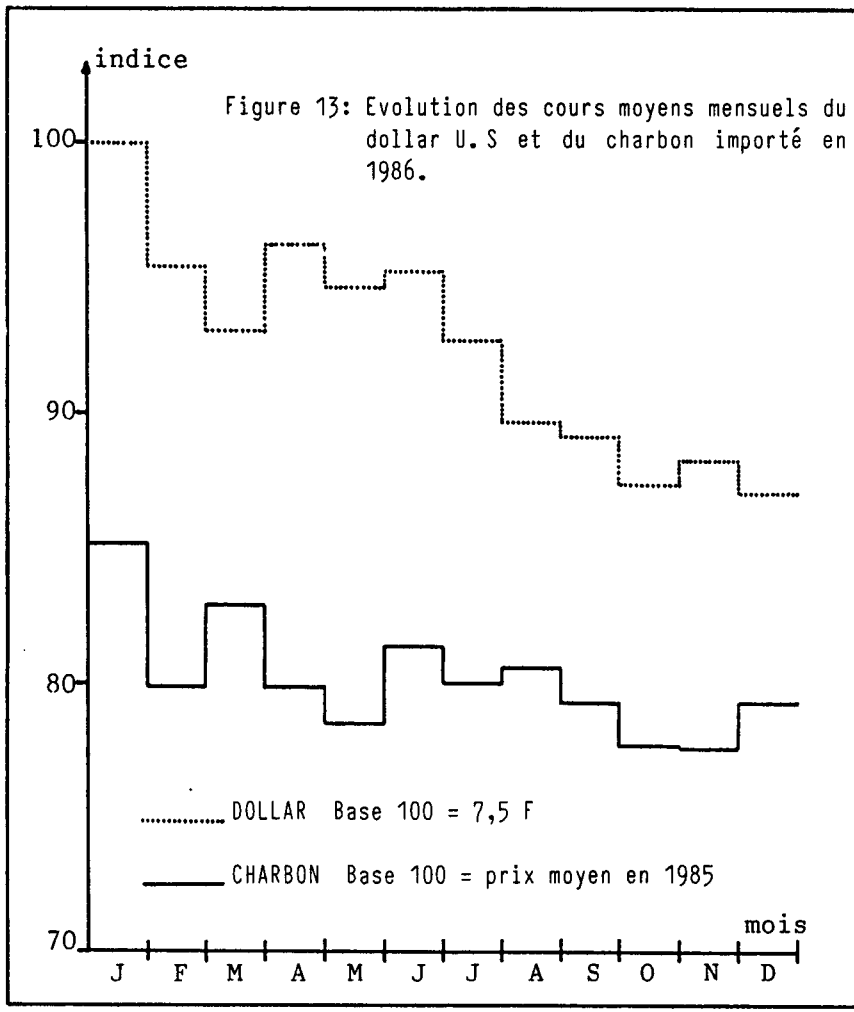


Figure 13: Evolution des cours moyens mensuels du dollar U.S et du charbon importé en 1986.

d'elle qu'ont été tracées les courbes de la figure 14.

L'effet de la baisse des combustibles est tout à fait équivalent à celui qu'aurait un cours du dollar américain égal à 5,62 francs (soit une baisse de 25 % par rapport à 7,5 francs) . La durée de fonctionnement

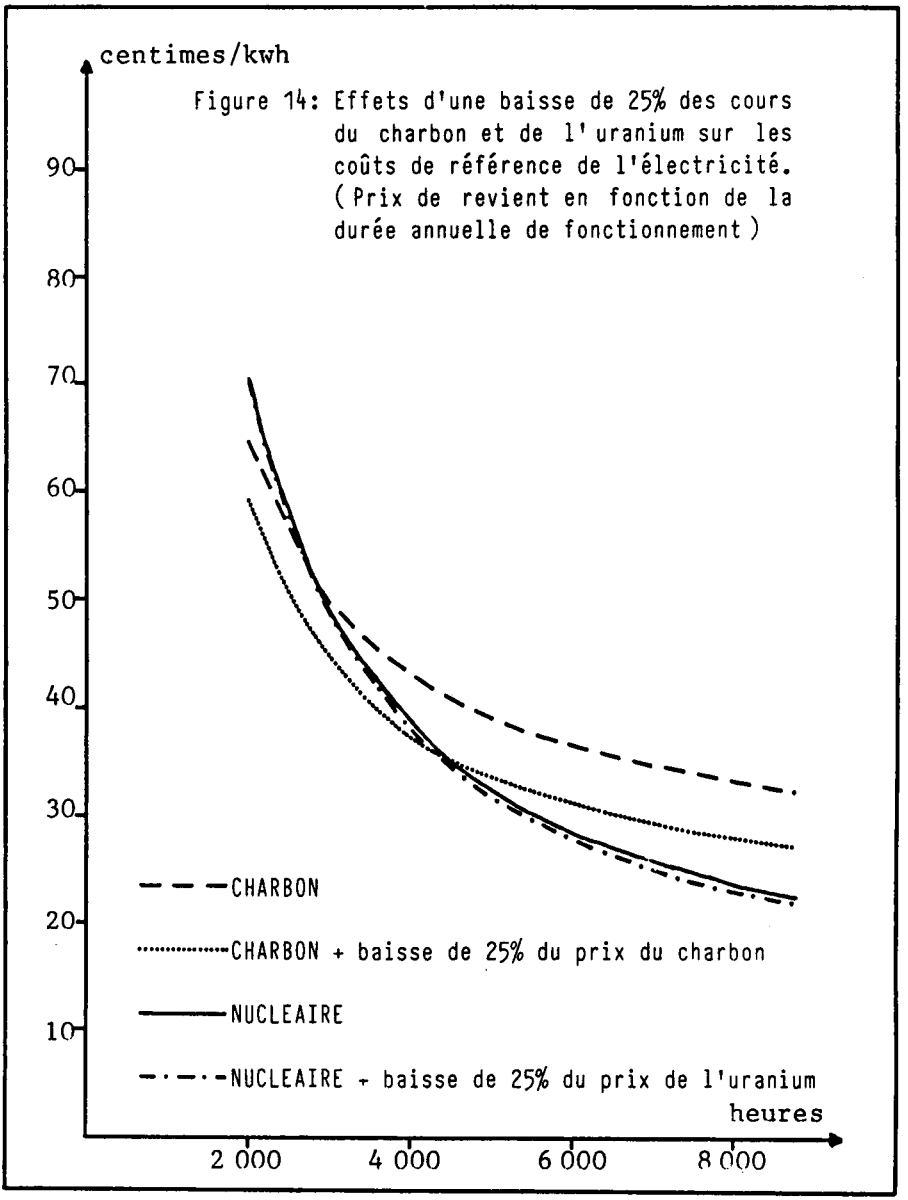


Figure 14: Effets d'une baisse de 25% des cours du charbon et de l'uranium sur les coûts de référence de l'électricité. (Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

d'équilibre constatée sur la figure 14 est d'environ 4 500 heures.

TABLEAU XII: Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) après prise en compte de l'effet pétrole.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	12,0	23,3	45,8
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	5,8	6,4	7,6
Total	22,1	38,1	69,8
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	15,6	15,6	15,6
Total	27,3	37,4	59,3

Conclusion

Hormis l'allongement de la durée de vie des centrales nucléaires, qui reste encore hypothétique et dont les conséquences économiques, si elles devraient être favorables à l'électricité nucléaire quant à son prix de revient, sont difficiles à quantifier, toutes les autres évolutions récentes rendent l'électricité nucléaire moins compétitive par rapport à celle fournie à partir du charbon. Jusqu'ici, nous avons étudié séparément l'effet de ces évolutions. Il nous reste, en guise de conclusion, à en étudier l'effet cumulé.

Nous ajouterons donc l'effet de la construction d'une seule tranche nucléaire par an, celui d'une baisse de 25% des cours des combustibles uranium et charbon et, enfin, celui d'un dollar U.S valant 6,37 F (valeur moyenne de la fourchette étudiée plus haut). Le tableau

XIII donne les prix de revient médians après le cumul de toutes ces évolutions. La figure 15, obtenue à partir des mêmes hypothèses, permet de déterminer la nouvelle durée de fonctionnement d'équilibre.

La prise en compte de toutes les évolutions économiques depuis l'évaluation officielle des coûts de référence en 1985 permet de dire que les centrales nucléaires ne trouvent de justification économique que si elles produisent, à leur puissance nominale, pendant plus de 6 000 heures par an.

Ce chapître vient de montrer que l'évolution récente des conditions économiques était très défavorable à la rentabilité de l' électricité d'origine nucléaire. Ceci devrait se vérifier , dans les toutes prochaines années, dans les chiffres d'E.D.F. Pour les années récentes, les résultats d'E.D.F devraient mettre en évidence l' effet d' au moins une des omissions mises en avant dans le chapître précédent : le coût de l' endettement . C' est pourquoi , pour conclure cette première

TABLEAU XIII : Prix de revient médians (évaluation officielle 1985) après prise en compte de toutes les modifications du contexte économique.

DUREE D'APPEL	8 760 h	4 000 h	2 000 h
NUCLEAIRE			
Investissements	13,2	25,6	50,4
Exploitation	4,3	8,4	16,4
Combustible	5,5	6,1	7,2
Total	23,0	40,1	74,0
CHARBON			
Investissements	8,2	15,1	30,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4
Combustible	13,3	13,3	13,3
Total	25,0	35,1	57,0

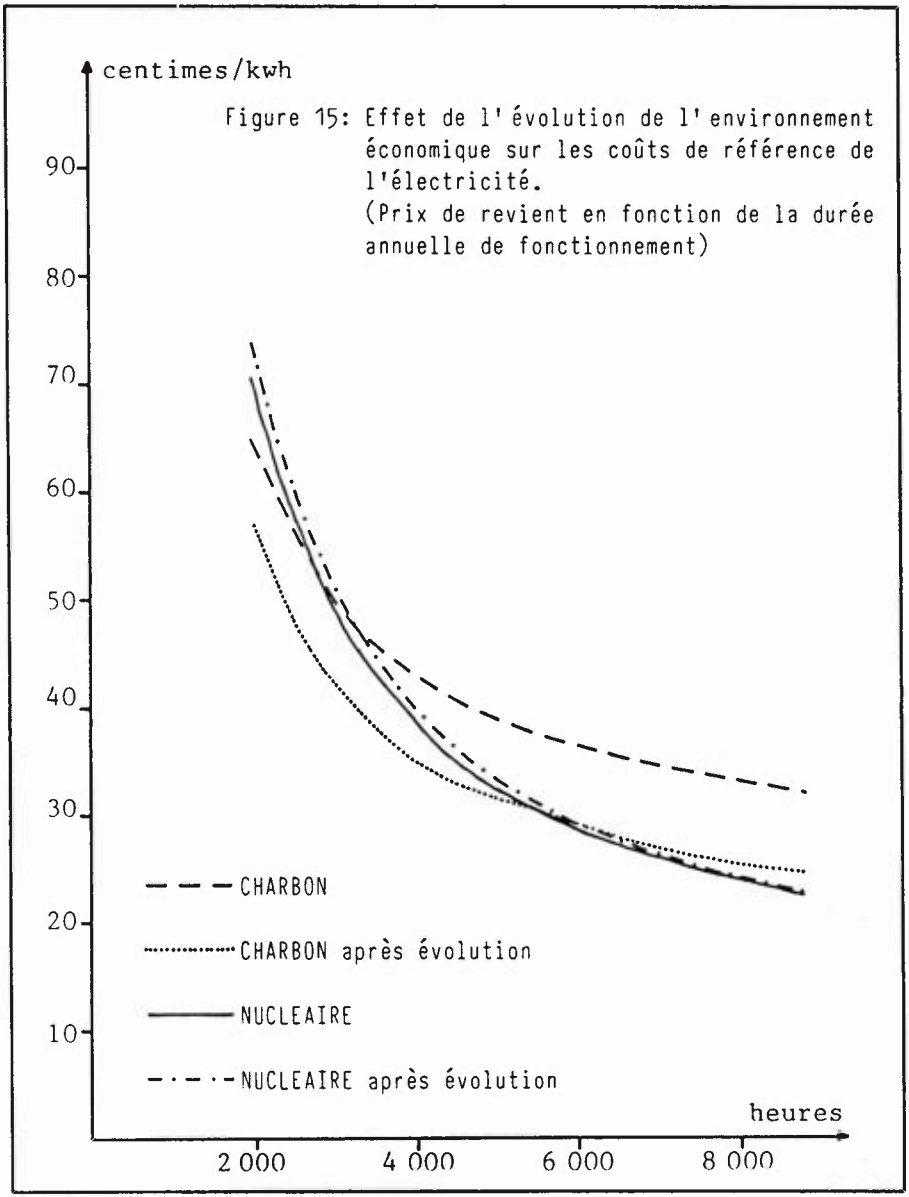


Figure 15: Effet de l'évolution de l'environnement économique sur les coûts de référence de l'électricité.
(Prix de revient en fonction de la durée annuelle de fonctionnement)

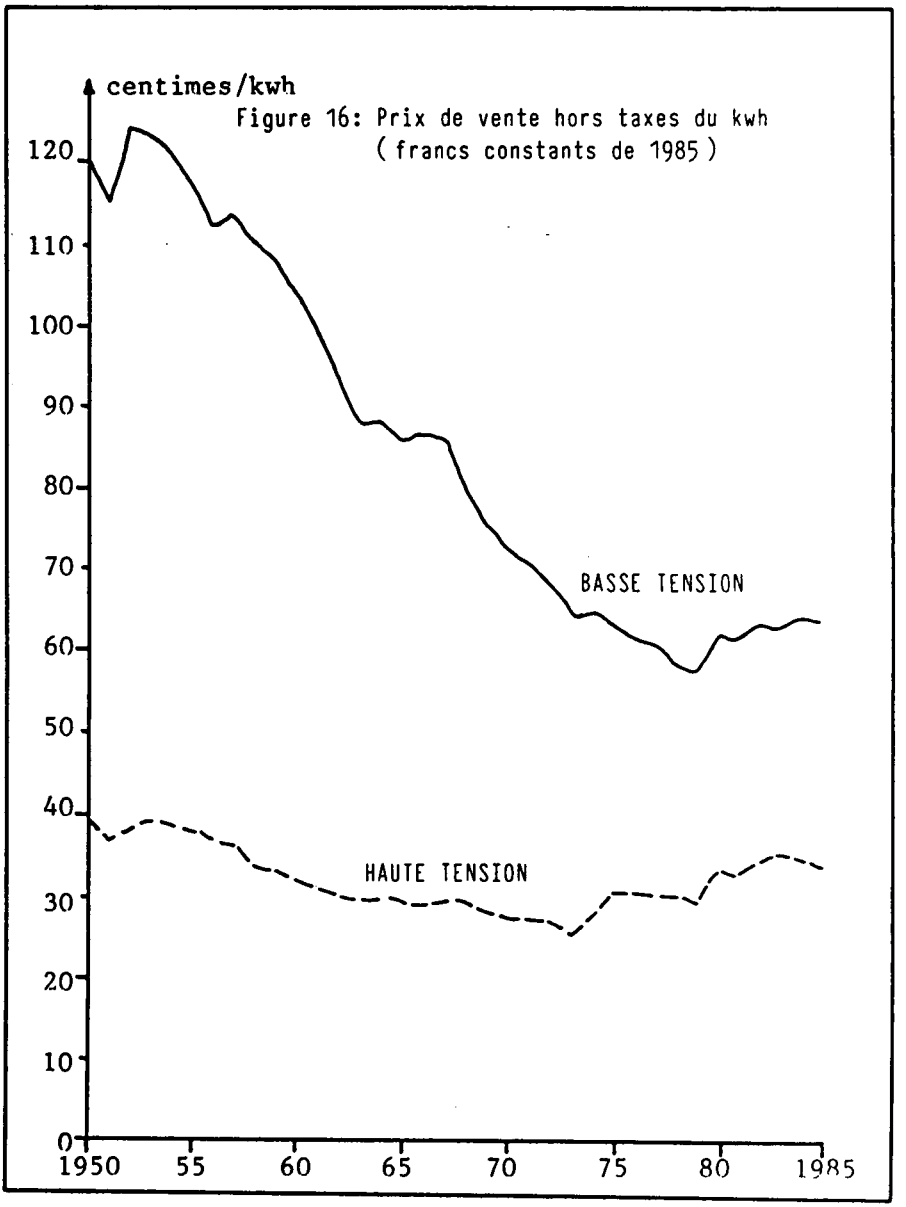
partie sur le prix de revient de l'électricité nucléaire, nous consacrerons le prochain chapître à l'étude des prix de vente pratiqués par E.D.F.

LE PRIX DE VENTE DE L'ELECTRICITE

Dans les chapîtres précédents, nous avons vu que l'électricité nucléaire n'avait pas les avantages économiques qu'on veut bien lui prêter. Son prix de revient réel est, d'après nous, bien plus élevé qu'on ne le dit. Cette affirmation devrait pouvoir se retrouver dans les tarifs et les résultats d'E.D.F. Comme première illustration, la figure 16 présente l'évolution du prix de vente de l'électricité de 1950 à 1985 (16). Cette figure, due à E.D.F, est en francs constants de 1985. Elle donne, d'une part, l'évolution du prix de l'électricité basse tension (celle qui est destinée au secteur résidentiel et tertiaire, c'est à dire essentiellement aux ménages) et, d'autre part, l'évolution du prix de l'électricité haute tension destinée aux industriels. Cette figure appelle deux remarques.

La première concerne l'évolution relative des coûts de l'électricité haute et basse tension. En 1950, l'électricité basse tension coutait 3 fois plus cher que l'électricité haute tension. En 1960, ce rapport était de 3,1, il est tombé autour de 2,7 en 1970. La décennie

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE



1970 a alors vu la dégringolade de ce rapport qui n'était plus que d'environ 1,8 en 1980 . Enfin, en 1985, il était de l'ordre de 1,9 . Manifestement, il y a une évolution de la politique d'E.D.F.

Dans les années de l'immédiate après-guerre , la priorité est la reconstruction du pays et il faut favoriser l'industrie. L'électricité qui lui est destinée est donc aussi peu chère que possible. Cette politique se poursuit jusqu'à la fin des années 60. C'est alors qu'E. D. F se rend compte que le potentiel d'augmentation de consommation des ménages est plus fort que celui de l'industrie . Les évolutions des prix deviennent plus favorables aux consommateurs des secteurs résidentiel et tertiaire . Cette politique est payante pour E. D. F puisque , de 1946 à 1985 , la consommation d'électricité haute tension a été multipliée par 10 tandis que celle d'électricité basse tension était multipliée par 24.

Au plan de l'économie nationale, cette évolution de la politique tarifaire est plus contestable. En effet, si on avait gardé le rapport des prix initial , de l'ordre de 3 , l'électricité destinée à l'industrie serait 25% moins chère , ce qui améliorerait notablement la compétitivité de notre industrie , et l'électricité basse tension serait plus chère de 19 % , ce qui diminuerait, peut-être, les gaspillages qui sont constatés dans le secteur résidentiel et tertiaire. Les deux effets seraient favorables à l'économie nationale.

Electricité nucléaire = électricité chère ?

La deuxième remarque à faire est sur la forme des courbes . De 1950 jusqu'en 1973 , les prix de vente de l'électricité baissent de façon assez continue . L'électricité basse tension continue à baisser jusqu'en 1979 . Depuis 1974 pour l'électricité haute tension et depuis 1980 pour l'électricité basse tension, on constate une augmentation des prix. Que s'est-il donc passé?

LE PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE NUCLEAIRE

La figure 17 peut apporter une réponse à cette question. Elle vient du même dossier édité par E.D.F à l'occasion de son quarantième anniversaire (16) . Elle donne la répartition de la production d'E.D.F entre les différentes sources d'énergie primaire . On peut y remarquer que l'élement marquant depuis la fin des années 1970 est la formidable montée en puissance du nucléaire qui s'accompagne d'une chute aussi vertigineuse de la production à base de fioul et de gaz . L'augmentation de la place du nucléaire accompagne la hausse des tarifs de l'électricité. Peut-on aller jusqu'à dire que l'arrivée du nucléaire est la cause de l'augmentation des tarifs? Ce serait aller un peu vite en besogne.

L'Histoire récente nous apprend qu'à la fin des années 1970 s'est aussi produit le second choc pétrolier qui s'est traduit, en gros, par un doublement des cours du pétrole et une augmentation de 50% de ceux du charbon. Est-ce là la cause de la hausse des prix?

E.D.F a apporté une réponse à cette question dans une autre de ses publications (17). De cet article est extraite la figure 18 qui donne l'évolution du prix de revient de l'électricité , toutes origines confondues, et fournit l'explication E.D.F de cette évolution . Dans cette figure , la référence (l'indice 100) est le prix de revient de 1974 . L'évolution constatée est celle de la courbe supérieure . E.D.F voit deux causes à l'augmentation de prix de revient que l'on remarque: les conditions de financement , c'est à dire ce que nous avons appelé l'endettement d'E.D.F, les variations de prix conséquences du second choc pétrolier.

Ces deux causes sont effectivement concomitantes mais il semble que , sur les courbes , l'importance de la seconde ait été exagérée . Par rapport à la courbe donnée comme étant celle qui est normalement attendue (la courbe inférieure) , le deuxième choc pétrolier aurait apporté un surcoût de 16,7% en 1984 alors que les calculs faits par nos soins à partir de données

Figure 17: Répartition de la production d'E.D.F par source d'énergie primaire(de 1950 à 1985)

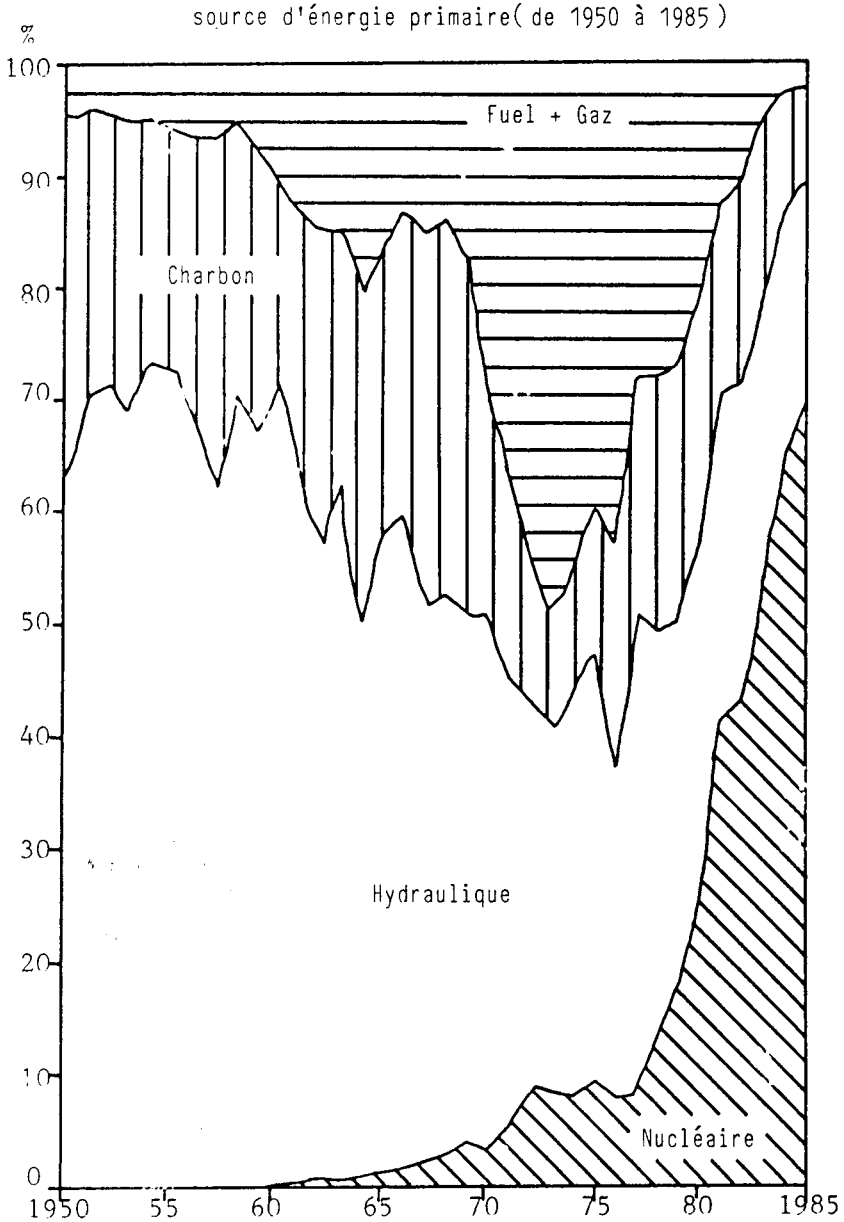
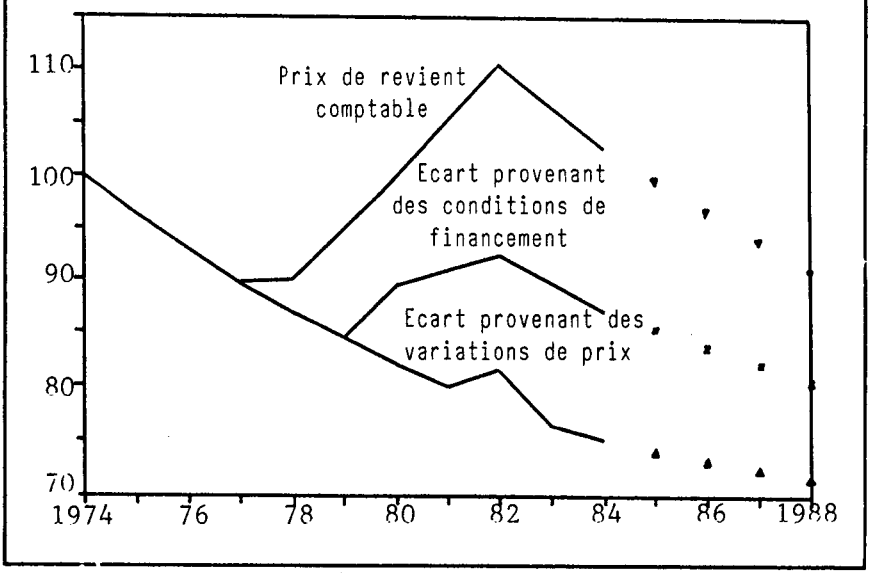


Figure 18: Evolution du prix de revient du kwh en monnaie constante (base 100 en 1974) et causes de cette évolution d'après E.D.F.



E. D. F (6) (18) donnent un surcoût maximum de 10 % pour la même année et très inférieur , en 1985 , à la prévision faite.

L'électricité nucléaire: un luxe pour la France

Que nos chiffres soient exacts et non ceux d'E. D. F a une importance finalement marginale . Le plus important est que les figures 16 et 18 sont la démonstration que le surcoût dû à l'endettement enlève la plus grande partie de l'intérêt économique de l'électricité nucléaire . Au niveau de la communauté nationale , les éléments non pris en compte que sont le coût de la recherche et celui du déclassement finissent d'oter un quelconque intérêt économique à l'électricité nucléai-

re. Enfin, la prise en compte des nouvelles données économiques : une seule tranche nucléaire par an ou tous les dix-huit mois, la baisse du dollar et celle des cours du pétrole font de l'électricité nucléaire un luxe que notre pays ne peut s'offrir en ces temps de crise.

DEUXIEME PARTIE :

L'IMPACT ECONOMIQUE DU NUCLEAIRE

INTRODUCTION

Au delà du simple problème du prix de revient de l'électricité fournie, le choix du nucléaire a des conséquences sur le tissu économique du pays. Dans cette deuxième partie, nous allons essayer de mesurer cet effet global du nucléaire. Cette étude ne sera pas exhaustive mais mettra en évidence les points qui nous semblent essentiels.

En comparant, à partir des tableaux de la première partie, la structure des prix de revient pour l'électricité nucléaire et celle fournie à partir du charbon, nous pouvons constater que la part des investissements est bien plus importante pour le nucléaire. Cette ponction sur la capacité d'investissement du pays fera l'objet de notre première étude.

L'avènement du nucléaire nous a donné de l'électricité en abondance et il s'est agi de trouver des débouchés à cette production dans notre pays et à l'étranger. Nous étudierons deux aspects de ce problème qui sont le chauffage électrique intégré, d'une part, et les exportations d'électricité, de l'autre.

L'INVESTISSEMENT : QUEL MEILLEUR USAGE ?

Entreprendre la construction d'une tranche nucléaire de 1 300 Mwe , c'est décider de l'usage de 10 milliards de francs (coûts de la recherche et du déclassement non compris) d'une capacité d'investissements nécessairement limitée . Est-ce le meilleur usage que l'on puisse faire de cette somme et comment le déterminer?

L'effet sur l'emploi

En ces temps de crise où l'emploi est le problème numéro un de notre société , un des moyens de décider du meilleur usage de l'investissement est de considérer son effet en terme d'emplois . Quel est le nombre d'emplois créés par la construction d'une tranche nucléaire ? Une première étude (19) donne 14 millions d'heures travaillées sur site pour une tranche de 1 300 Mwe ce qui correspond à environ 7 800 années de travail . Une autre étude (20) fournit le nombre total d'années de travail (sur site et en usine) sous forme

graphique. La lecture de cette figure conduit à une estimation de la quantité de travail à réaliser comprise entre 15 000 et 20 000 années de travail.

Supposons maintenant que nous utilisions nos 10 milliards d'investissements pour créer en France, ce que nous n'avons pas, une puissante industrie de fabrication de chars à boeufs. Le nombre d'années de travail créées sera très supérieur à 20 000. Serait-ce donc là un meilleur investissement? Non, car l'industrie du char à boeuf n'a aucun débouché en France.

La création ou le maintien de l'emploi n'est pas une raison suffisante pour utiliser le potentiel d'investissement. Il faut aussi que le produit créé ait une utilité et réponde à un besoin. Les centrales nucléaires répondent à un besoin d'énergie. Les investissements auxquels nous pouvons les comparer doivent soit satisfaire des besoins d'énergie soit faire diminuer ces besoins.

Nous comparerons ici l'engagement d'une tranche nucléaire de 1 300 Mwe à l'apport de 10 milliards d'investissements par la collectivité pour des opérations d'économies d'énergie dans le secteur résidentiel et tertiaire.

Dans une opération d'économies d'énergie, il n'est pas question que la totalité des frais soit payée par la collectivité. Il faut que le particulier, qui va économiser l'énergie, participe financièrement aux frais. Nous supposerons donc que les 10 milliards d'investissement public servent à subventionner à 25 % des travaux d'économie d'énergie dans l'habitat. Le total des sommes engagées sera donc de 40 milliards de francs. Quel sera le nombre d'années de travail généré?

Une étude de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (A.F.M.E) (21) donne la réponse. Un milliard de francs utilisé pour des travaux d'économie d'énergie dans l'habitat ou le tertiaire génère 6 250 années de travail. Les 40 milliards donnent donc 250 000 an-

nées de travail à comparer aux 15 000 à 20 000 générées par la construction d'une tranche nucléaire. Bien sûr, il est possible de dire qu'en fait l'investissement est 4 fois plus fort. Bien que cette remarque ne soit pas aussi fondée qu'il y parait (la participation des particuliers peut être considérée comme une"avance sur non-consommation") , on peut accepter de comparer les 62 500 années de travail créées par 10 milliards de francs aux 15 000 à 20 000 générées par la construction d'une tranche nucléaire. Le résultat est probant.

Energie produite et énergie économisée

Le but de l'investissement n'est pas seulement de créer des emplois. Il est surtout de créer des biens. Dans notre comparaison, il s'agit d'un côté d'énergie produite, de l'autre d'énergie qu'il sera inutile de produire. C'est équivalent.

Quelle est la production d'énergie d'une tranche de 1 300 Mwe ? Elle dépend essentiellement de la durée de fonctionnement annuelle de la tranche. Si elle fonctionne au maximum de sa capacité, soit environ 7 000 heures, et toujours à pleine puissance, l'énergie produite annuellement sera de 9,1 Twh, soit 9,1 milliards de kwh. Mais avouons que pour une centrale construite actuellement, étant donnée la puissance nucléaire déjà en service, un fonctionnement en continu n'est pas envisageable. Une durée de fonctionnement annuelle à pleine puissance de 3 000 à 4 000 heures semble le maximum qu'on puisse escompter. La production électrique varie alors entre 3,9 et 5,2 milliards de kwh.

L'investissement équivalent de la collectivité dans les économies d'énergie permet de ne pas utiliser une certaine quantité d'énergie. Il est plus difficile de dire combien. D'après une étude de l'A.F.M.E (22), la plus grande partie des économies d'énergie dans l'habitat demande moins de 10 000 francs d'investissements par tonne équivalent pétrole (tep) économisée (la tep

est l'énergie contenue dans une tonne de pétrole standard). Les 40 milliards de francs permettraient donc d'économiser au minimum 4 millions de tep par an (ou 1 million de tep si on ne tient compte que des 10 milliards d'investissements publics).

Comment faire la relation entre les tep et les kwh? Ceci est un sujet de débat que nous aborderons en annexe. Parce qu'elle est la plus favorable au nucléaire, nous prendrons ici l'équivalence officielle française malgrè les critiques qu'on peut lui faire : 1 000 kwh est égal à 0,222 tep. Le fonctionnement de la tranche nucléaire pendant 7 000 heures produit alors 2,02 millions de tep, en 4 000 heures la production n'est plus que de 1,15 millions de tep, enfin, en 3 000 heures, la production est de 0,87 millions de tep.

Une centrale nucléaire fonctionnant en base produit donc annuellement deux fois plus d'énergie qu'il n'est possible d'en économiser si l'investissement consacré à sa construction est utilisé pour des opérations d'économies d'énergie (mais deux fois moins si on considère que, dans ce cas, l'investissement public sert à inciter un investissement privé). Par contre, si la centrale ne fonctionne que la moitié de l'année, énergie produite et énergie économisée sont équivalentes. Il convient d'ajouter que, pour la production d'électricité, l'investissement n'a pas suffi. Il a aussi fallu du combustible nucléaire et du personnel d'exploitation.

Les effets induits

Le choix de construire une centrale nucléaire ou d'économiser l'énergie a des conséquences à long terme autres que l'énergie produite ou économisée. Elles doivent entrer dans la comparaison économique.

Pour la centrale nucléaire, il y a création d'emplois pendant toute la durée de sa vie. Deux types d'emplois sont créés : ceux liés à l'exploitation de la

centrale, ceux liés au combustible. Pour l'exploitation, 300 personnes travaillent sur chaque tranche de 1 300 Mwe. Une tranche ayant une durée de vie de 25 ans, ceci correspond à 7 500 années de travail. Pour les emplois liés au combustible, ils sont plus difficiles à évaluer. On peut les estimer à 200 emplois ce qui correspond donc à 5 000 années de travail pour la durée de vie de la centrale.

Du côté des économies d'énergie, il n'y a pratiquement pas de création d'emplois au delà de la réalisation des travaux. Cependant, la comparaison du nombre total d'années de travail engendrées (62 500 ou 250 000 selon les conventions) par les travaux d'économies d'énergie et celui (27 500 à 32 500) dû à la centrale nucléaire reste très favorable aux économies d'énergie.

Un dernier aspect est l'aspect financier. Le choix de la centrale nucléaire implique, pour les particuliers, le paiement de l'énergie produite pendant tout le temps de vie de la centrale. Le choix des économies d'énergie implique, quant à lui, qu'au delà de l'investissement initial, le consommateur va gagner l'argent qu'il aurait dépensé pour payer l'énergie dont il n'a plus besoin. Pendant les premières années, cet argent va compenser son investissement initial. C'est ce qu'on appelle le temps de retour qui varie à la fois suivant le montant de l'investissement et le coût de l'énergie économisée. Disons que ce temps de retour varie entre 3 ans et 5 ou 6 ans. Au delà, l'argent économisé pourra servir soit à une consommation supplémentaire soit être épargné c'est à dire servir pour accroître la capacité d'investissement du pays. Dans les deux cas, il y aura génération d'emplois qu'il est cependant difficile d'estimer.

Le champ des économies d'énergie

Jusqu'à présent, nous avons considéré que le choix était ouvert entre économiser l'énergie et la produire.

Encore faut-il qu' il y ait des économies d' énergie à réaliser.

Une étude déjà citée (22) montre que le gisement d'économies d'énergie est encore largement inexploité. Pour ce qui est du secteur du bâtiment, par exemple, à la fin de 1983 , plus des deux tiers des logements n' avaient pas fait l' objet de travaux de calfeutrage ou d' étanchéité , 70 % n' avaient pas de combles isolées. Dans 84 % de ceux qui avaient une chaudière , celle-ci n' avait pas fait l' objet de travaux d' entretien , enfin, dans 93% des cas, la tuyauterie n'était pas calorifugée . Au total , plusieurs dizaines de millions de tep sont économisables.

Doit-on subventionner les économies d'énergie?

Lorsqu' une opération d' économie d'énergie est réalisée, l'utilisateur est le seul qui économisera de l' énergie et les sommes correspondantes . Pourtant , nous proposons ici que la collectivité participe au financement des opérations d' économie d' énergie . Peut - on trouver une justification économique à cet effort collectif alors qu'à première vue seul un individu en bénéficiera ? En d' autres termes , quel est le bénéfice, pour la collectivité , des opérations d' économies d' énergie?

A priori, seul l'utilisateur retire un bénéfice des opérations d'économies d'énergie. Pourtant, si on considère l'Histoire récente, on peut voir que la collectivité y trouve aussi son compte . Au lendemain du second choc pétrolier , tous les experts prévoyaient que l'envolée des cours du pétrole allait continuer. Seule la vitesse de l' augmentation et sa forme (par à coups ou de façon continue) divisait les experts. Malgré celà le cours du pétrole s'est stabilisé puis la décrue est venue , surtout depuis la fin de 1985 . Que s' était-il donc passé?

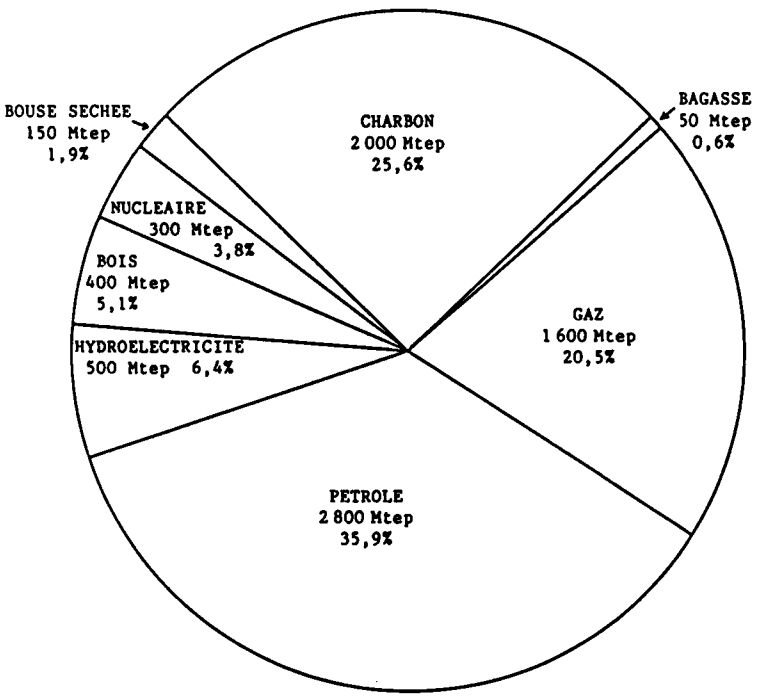
Tout simplement , alors que la capacité de produc-

tion croissait à vive allure, aiguillonnée par les cours élevés, la demande n'a pas continué à croître et l'offre a fini par dépasser la demande. Les lois du marché ont alors eu raison de la solidarité des pays exportateurs et les cours se sont effondrés. On peut dire que ce sont les causes de la moindre demande en pétrole qui sont responsables de la chute des cours. Il est donc important de connaître ces causes. Deux sont envisageables : un déplacement de la demande en énergie du pétrole vers une autre énergie, une moindre demande énergétique globale.

La cause est-elle un déplacement de la demande vers d'autres énergies et, en particulier, l'avènement du nucléaire est-il responsable de la baisse des cours ? Le marché de l'énergie est un marché mondial, il faut donc considérer la place des différentes énergies sur ce marché et non sur le seul marché français. La figure 19 donne la répartition de la production énergétique de 1985 entre les différentes sources d'énergie primaire (23). Les équivalences entre les différentes énergies retenues pour construire cette figure sont celles de l'O. C. D. E. Notons simplement qu'avec les équivalences physiques retenues par l'O.N.U, les parts du nucléaire et de l'hydroélectricité seraient divisées par un rapport d'environ 2,6 et que la contribution du nucléaire, inférieure ici à celle du bois, deviendrait plus faible que celle de la bouse séchée et équivalente à deux fois celle de la bagasse (la tige de canne à sucre).

Si on compare la répartition de la production d'énergie à ce qu'elle était en 1970 (24), avant le premier choc pétrolier, on constate une forte baisse (d'environ 6%) de la part du pétrole, une baisse beaucoup plus faible (2%) de celle du charbon, compensées par une hausse importante de la contribution du gaz naturel (5%), du nucléaire (3%) et une hausse beaucoup plus limitée de l'hydroélectricité (0,7%). On peut donc dire que la baisse, ou du moins une partie de la baisse, des

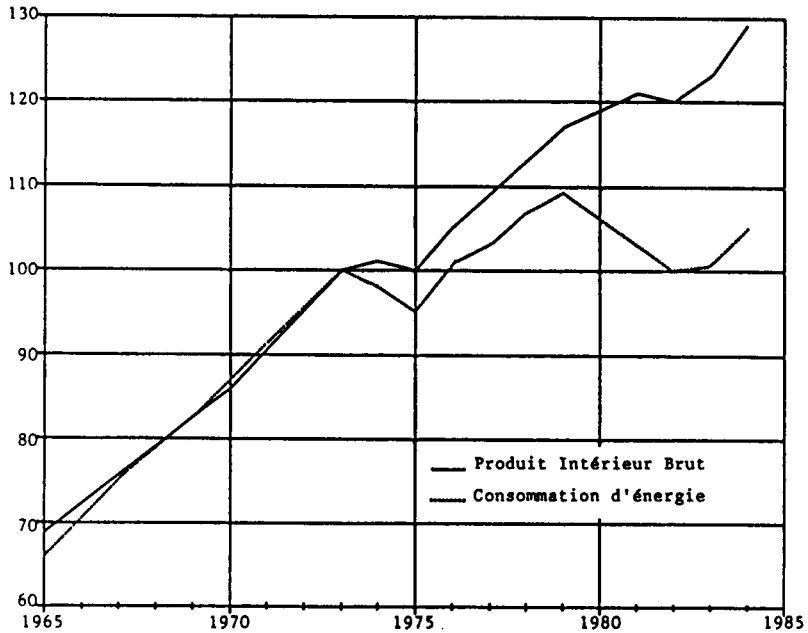
Figure 19: Répartition de la production énergétique mondiale en 1985.
(équivalences énergétiques de l'O.C.D.E)



cours du pétrole s'explique par un transfert de la demande vers d'autres énergies.

On peut faire une autre constatation sur l'évolution de la consommation énergétique mondiale au cours des dernières décennies. De 1960 à 1970, la consommation a progressé d'environ 5% l'an, de 1970 à 1985,

Figure 20: Evolution du produit intérieur brut et de la consommation d'énergie des pays de l'O.C.D.E(indices 100 en 73)



cette progression n' est plus que de 2,1 % par an . La crise , qui a entrainé une moindre croissance économique, est-elle la seule cause de cette diminution de la progression ? Ou bien avons - nous su mieux utiliser l' énergie dont nous disposions , augmenter l' efficacité énergétique?

La figure 20 est une réponse à cette question , au moins pour les pays de l' O. C. D. E (25). Elle donne l' évolution , de 1965 à 1985 , du produit intérieur brut et de la consommation d'énergie primaire pour ces pays. Pour juger de l'importance quantitative de ces courbes, il faut savoir que la consommation d' énergie des pays de l'O.C.D.E représente près de 50% de la consommation mondiale . On peut constater que , de 1965 à 1973, pro-

duit intérieur brut et consommation d'énergie croissent à peu près régulièrement et au même rythme, environ 5% l'an. Depuis 1973, les deux courbes ont une allure beaucoup plus chaotique et il y a une nette bifurcation entre elles. La consommation d'énergie croît beaucoup moins vite que celle du produit intérieur brut. Alors que ce dernier a été multiplié par 1,29 entre 1973 et 1984, la consommation n'a été multipliée que par 1,05. Ce sont les opérations d'économies d'énergie qui, en faisant croître l'efficacité énergétique, sont la cause de cette différence.

On peut quantifier l'effet des économies d'énergie en comparant la consommation d'énergie de 1984 à ce qu'elle aurait été si l'efficacité énergétique n'avait pas augmenté. En 1984, la consommation d'énergie des pays de l'O.C.D.E a été de 3 698,8 Mtep (23). Si l'efficacité énergétique était restée celle de 1973, cette consommation d'énergie aurait été multipliée par 1,23 (1,29 / 1,05) et se serait élevée à 4 544 Mtep soit 845 de plus. Ces 845 Mtep évitées par les économies d'énergie peuvent être comparées à la production d'électricité nucléaire dans les pays de l'O.C.D.E. En 1984, les 1021 milliards de kwh fournis (26) étaient équivalents à 226 Mtep pour l'O.C.D.E et à 87 Mtep pour l'O.N.U contre 20 Mtep ou 8 Mtep en 1973. La consommation évitée par les économies d'énergie est plus de 4 fois supérieure à celle substituée par le nucléaire.

On peut donc dire que les économies d'énergie sont une des causes importantes sinon la cause principale de la moindre demande énergétique donc de la moindre demande pétrolière. Elles sont donc à l'origine de la baisse importante des cours mondiaux des énergies fossiles. Une opération d'économie d'énergie a un double effet économique. Pour le bénéficiaire, elle diminue ses besoins futurs en énergie, pour la collectivité, elle contribue à faire diminuer les prix de l'énergie. C'est cette dernière propriété qui justifie la subvention, par la collectivité, des opérations d'économies d'énergie.

Conclusion

A tous les points de vue, l'investissement de 10 milliards de francs dans la construction d'une tranche nucléaire de 1 300 Mwe est une mauvaise affaire, si on compare cet investissement à un, identique, dans des opérations d'économie d'énergie.

Au plan du travail généré, l'option nucléaire procure 2 à 3 fois moins de travail que l'option économie d'énergie et ce même en comptant le travail nécessaire pour l'exploitation de la centrale, travail payé en sus de l'investissement initial.

Au plan de l'énergie produite ou économisée, le résultat dépend beaucoup de la durée de fonctionnement annuelle de la tranche nucléaire et des équivalences énergétiques retenues. Avec les équivalences O.C.D.E, si la tranche nucléaire fonctionne en base (7000 heures par an), l'énergie produite est le double de celle qu'il est possible d'économiser. Pour une durée de fonctionnement plus réaliste de 3 000 à 4 000 heures, énergies produite et économisée sont équivalentes. Avec les équivalences de l'O.N.U, l'énergie économisée est toujours supérieure à celle produite.

Au plan de la faisabilité technique et économique des opérations d'économie d'énergie, le champ des économies possibles dans notre pays est encore très vaste et représente l'équivalent de plus d'une dizaine de tranches nucléaires. Enfin, il est tout à fait licite, au plan économique, de subventionner les économies d'énergie car, si le réalisateur est le principal bénéficiaire, la collectivité s'y retrouve aussi. En effet, les économies d'énergie ont puissamment contribué à la baisse des cours mondiaux des combustibles fossiles.

LE CHAUFFAGE ELECTRIQUE INTEGRE

Un des aspects importants du choix du nucléaire a été une incitation à une plus grande consommation d' électricité à la place des énergies classiques. La promotion faite pour le chauffage électrique intégré en est l'exemple le plus typique.

Le but officiel de la promotion du chauffage électrique intégré (C. E. I) est de remplacer des énergies importées, pétrole sous forme de fioul domestique, gaz ou charbon , par une énergie nationale : l'électricité. Un autre de ses intérêts, au moins pour les promoteurs, est que le coût d'installation d'un C.E.I est très inférieur à celui d'un chauffage central d'un autre type, ce qui permet de diminuer le prix des logements neufs. Le choix du C. E. I semble donc être un avantage immédiat pour l' acheteur d' un logement. Ces deux qualités officielles: moins d'importations pour la collectivité, moindre coût pour l' individu , méritent d' être un peu approfondies. C'est pourquoi nous étudierons ici l'origine de l' électricité utilisée pour le C.E.I , le coût

de ce type de chauffage pour l'utilisateur, mais aussi l'effet du C.E.I sur le réseau de distribution, sur l' appareil de production d' E.D.F et sur le niveau de l' emploi.

La consommation d'électricité du C.E.I

La figure 21 donne la consommation hebdomadaire d' électricité en France en 1985. Elle est établie d'après les statistiques de l'I.N.S.E.E (27) et la consommation couverte par la production hydraulique est aussi indiquée. Entre les deux courbes, il y a la consommation française d'électricité d'origine thermique.

Le principal constat que l'on peut faire à l'examen de cette figure est que la consommation d' électricité est loin d' être une constante sur l' année. Il y a une pointe de consommation très marquée en hiver. Quelles sont les causes de cette pointe de consommation ? On peut en identifier quatre principales. La première est qu'en hiver les nuits sont plus longues et les jours à la fois plus courts et moins ensoleillés. En conséquence, les besoins en éclairage sont plus élevés. Cependant, l' électricité utilisée pour l' éclairage ne représente qu'une toute petite partie de la consommation et l'augmentation hivernale n'a qu'une importance tout à fait marginale. La deuxième cause est la cuisson des aliments à l' électricité. Les habitudes alimentaires de nos concitoyens (plus de plats mijotés en hiver) participent à l'augmentation hivernale de la consommation. Mais ici encore, cette augmentation est anécdotique. La troisième cause est le chauffage de l' eau sanitaire (ou dans les lave-linge ou lave vaisselle). Là, la consommation d' eau n' est pas plus forte en hiver mais la température naturelle de l' eau est plus basse ce qui fait qu' il faut plus d' électricité pour chauffer l' eau. Cette troisième cause a encore une faible importance. Enfin, la quatrième cause et, de loin, la plus importante est le chauffage électrique des locaux.

Figure 21: Statistiques hebdomadaires de production et de consommation d'électricité en France en 1985.

L'IMPACT ECONOMIQUE DU NUCLEAIRE

La principale caractéristique de la consommation d'électricité du chauffage électrique est d'être très concentrée sur la période hivernale et ce d'autant plus que ce type de chauffage est plus répandu dans les régions les plus chaudes du pays où la saison de chauffe est la plus courte.

Quelle est l'origine de l'électricité qui est utilisée pour le chauffage électrique intégré ? Bien sûr, on ne peut pister chaque kwh et savoir s'il vient d'une centrale nucléaire, hydraulique ou thermique classique. La manière de répondre à cette question est de chercher quelles centrales ne fonctionneraient pas si le C.E.I n'était pas utilisé. Ce sont des centrales charbon et fioul lourd qui ne seraient pas utilisées, les centrales nucléaires n'étant que fort peu touchées.

Une étude de l'A.F.M.E de 1985 (28) estimait que les chauffages électriques nouveaux faisaient appel pour 20% à du fioul, pour 70% à du charbon et pour 10% seulement à de l'électricité d'origine nucléaire. L'A.F.M.E estimait qu'en 1990, ces parts deviendraient respectivement 10%, 70% et 20%.

Une étude plus ancienne de la C.F.D.T (29), citant des sources d'E.D.F, donne exactement les mêmes proportions. Dans ces conditions, quelle est la consommation d'énergie fossile liée au C.E.I et quelle serait cette consommation avec des moyens plus traditionnels de chauffage utilisant un matériel moderne?

Nous répondrons à cette question pour l'année 1990 de façon à maximiser la contribution du nucléaire. Il nous faut calculer quelle quantité de combustible fossile est nécessaire pour que le système de chauffage délivre à l'utilisateur une unité de chauffage. Au préalable, nous devons poser les différentes hypothèses de rendement sur lesquelles nous travaillerons.

Côté C.E.I, nous considérerons que les convecteurs ont un rendement de 98 % ce qui est une très bonne valeur. Les pertes d'électricité le long du réseau de

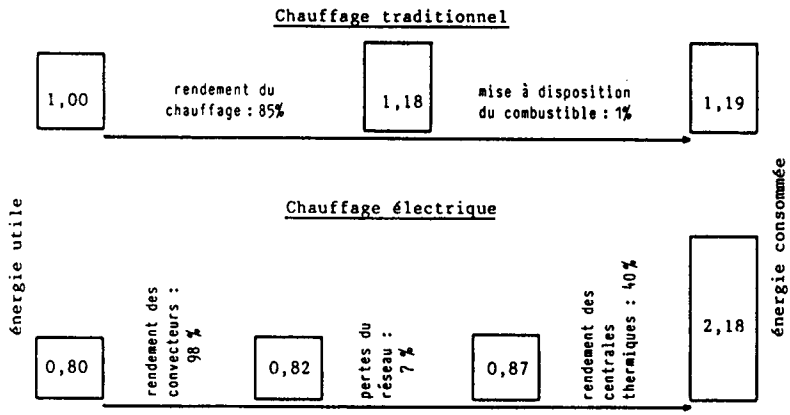
distribution seront estimées à 7 %, le taux constaté dans les bilans énergétiques nationaux. Enfin, nous considérerons que l'électricité d'origine thermique est produite par une centrale moderne ayant un rendement global de 40 %. Cette estimation est très large, les valeurs courantes étant plutôt comprises entre 35% et 40%.

Côté chauffage traditionnel, si on utilise une chaudière moderne à condensation, son rendement est supérieur à 92%. Cependant, pour prendre en compte les pertes sur le réseau de distribution d'eau chaude, nous prendrons ici un rendement plus moyen de 85 %. Enfin, dans le cas de la production d'électricité à partir de combustibles fossiles, comme dans celui du chauffage traditionnel, il faut de l'énergie pour livrer le combustible. Nous considérerons que cette dépense est plus forte dans le cas du chauffage traditionnel car les livraisons sont plus dispersées. Nous considèrerons que cela équivaut à une augmentation de 1 % du combustible nécessaire pour le chauffage traditionnel.

La figure 22 est une illustration du calcul de l'énergie consommée en tenant compte de ces différentes hypothèses. Pour le chauffage traditionnel, pour fournir une unité de chauffage, il faut 1,19 unités de combustibles fossiles. Pour que le C.E.I fournisse une unité de chauffage, 0,2 unité est fournie à partir du nucléaire et 0,8 unité à partir de combustibles fossiles. La consommation de combustibles fossiles est de 2,19 unités.

On peut donc constater que, de manière tout à fait paradoxale, le chauffage électrique intégré, qui était censé faire économiser des combustibles importés, en consomme en fait environ 2 fois plus qu'un chauffage traditionnel utilisant un matériel moderne. Ajoutons qu'il faut en plus du combustible nucléaire pour les 20% d'électricité d'origine nucléaire utilisée par le C.E.I.

Figure 22: Quantité de combustible fossile consommé pour produire une unité de chauffage suivant le type de chauffage utilisé.



Le coût pour l'utilisateur

Il est incontestable que l'installation d'un chauffage électrique intégré demande beaucoup moins d' investissements que celle de tout autre moyen de chauffage central. Mais, si on paie une fois l'installation d'un chauffage, c'est pendant toute la durée de vie de ce chauffage qu' on en paie le fonctionnement . Or , il est très discutable que les frais de fonctionnement d' d'un C.E.I soient inférieurs ou même équivalents à ceux d'un chauffage classique . Les experts d' E.D.F prétendent que oui , les autres experts prétendent que non. Cette divergence vient du fait que les deux groupes ne parlent pas tout à fait de la même chose.

Pour E. D. F , il s' agit de comparer deux logements identiques mais dont celui qui est équipé du chauffage électrique bénéficie d'une isolation maximum alors que

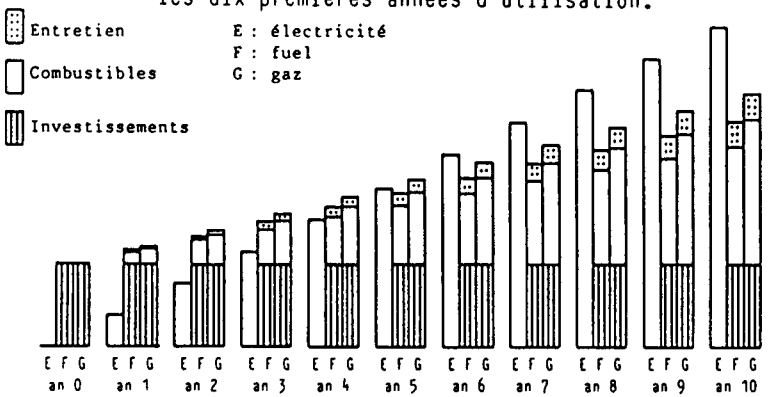
l'autre a une isolation classique. De plus, on tient compte d'évolutions futures très contrastées pour les prix des deux types d'énergie. Les prix de l'électricité baissent dans le futur, ceux des énergies fossiles ayant plutôt tendance à augmenter.

Pour l'autre groupe d'experts, les logements sont identiques et l'isolation aussi ce qui fait que la consommation d'énergie pour le chauffage électrique n'est qu'un tout petit peu plus faible (à cause des plus grands besoins d'air frais pour les chauffages traditionnels). De plus, on ne tient compte que des prix actuels (les seuls connus avec certitude).

Il nous semble que ce sont les études faites par ce deuxième groupe d'experts qui sont les plus défendables au plan économique. En effet, si on veut comparer le prix de revient de deux types de chauffage, il faut leur demander de fournir le même service (même quantité de chaleur) ou, mieux, que le service demandé soit fonction des contraintes imposées par le chauffage (demande un peu plus forte pour le chauffage traditionnel à cause de la plus grande demande d'air frais pour compenser la combustion), mais en aucun cas que la demande soit fonction de contraintes extérieures telles que le choix d'une plus ou moins grande isolation. Quant à tabler sur les évolutions futures des prix des différentes énergies, l'Histoire récente montre que cela relève plus du jeu de hasard (ou de l'acte de foi) que de la science de la prévision économique.

Parmi les études de coût dues au deuxième groupe d'experts, la plus récente dont nous disposons est basée sur les prix des énergies au 2 mars 1987 (30). Elle a été réalisée par ASFUEL, l'association pour une utilisation performante du fuel domestique. L'exemple pris pour le calcul est celui d'une maison individuelle de 112 m^2, ayant un coefficient G de 0,9 (isolation conforme à la réglementation de 1982) et située en zone H1 (la zone la plus froide du pays). D'après cette

Figure 23: Comparaison des coûts cumulés d'un C.E.I et de chauffages centraux au fuel ou au gaz pendant les dix premières années d'utilisation.



étude , le coût annuel de l'énergie , pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire , est de 3 500 francs pour le fuel domestique , 4 303 francs pour le gaz et 9 562 francs pour le chauffage électrique.

A partir de ces données , nous avons construit la figure 23 qui donne le coût cumulé de différents types de chauffage au cours des dix premières années de leur utilisation . Pour construire cette figure , nous avons considéré que le surcoût d'installation d'un chauffage central traditionnel (fuel ou gaz) par rapport à un C.E.I était de 25 000 francs . C'est ce que traduit le figuré pour l'an 0. De plus, nous avons postulé qu'un chauffage traditionnel demande plus d'entretien qu'un C.E.I et le surcoût d'entretien annuel a été évalué à 750 francs.

Grace à son moindre coût d'installation, le C.E.I a un coût cumulé plus faible au cours des premières années d'utilisation. Cependant, à partir de la cinquième année , le chauffage au fuel devient moins cher que le C.E.I . Puis le chauffage au gaz devient à son tour

moins cher au cours de la sixième année. Si on compare les prix de revient au bout de la dixième année, le C. E.I a couté 20 000 francs de plus que le gaz et 28 000 francs de plus que le fuel.

Il ne faut pas prendre les chiffres donnés ici comme intangibles. Les prix énergétiques sont très fluctuants à l'heure actuelle. On peut se contenter de constater qu'à l'usage, le chauffage électrique est beaucoup plus coûteux pour l'utilisateur que ses concurrents et que le gain à l'installation est mangé en quelques saisons de chauffe (beaucoup moins de 10 ans aux prix actuels). Il faudrait que les prix des combustibles fossiles doublent, à prix de l'électricité constant, pour que le C.E.I ait un coût d'utilisation favorable.

Autres conséquences économiques du C.E.I

Le C. E. I est la principale cause de la pointe hivernale de la consommation d'électricité. Pour satisfaire ces besoins de pointe, il faut des centrales électriques qui ne sont utilisées que fort peu d'heures dans l'année. L'électricité produite est donc très chère. Le C. E. I, par ses besoins en électricité concentrés sur une période courte, engendre une augmentation sensible du prix de revient moyen de l'électricité et donc de son prix de vente. On pourrait dire aussi que le C.E.I est la cause de l'augmentation du prix de vente de l'électricité aux industriels en hiver. En fait, la cause de cette augmentation est le souci d'E. D. F de faire baisser la consommation électrique industrielle en hiver pour compenser en partie la pointe due au C.E.I. E.D.F préfère faire payer l'augmentation hivernale de consommation aux industriels qui ont une consommation pratiquement étale plutôt qu'aux particuliers qui sont à l'origine de l'augmentation de la consommation. C'est la politique tarifaire d'E.D.F qui est à mettre en cause plus encore que le C.E.I.

Si la pointe hivernale de consommation due au C.E.I impose des moyens de production supplémentaires , elle demande aussi à pouvoir être distribuée aux clients. E. D. F doit donc dimensionner son réseau de distribution sur la demande de pointe . Cela impose de lourds investissements. Les pannes hivernales auxquelles nous avons assisté ces dernières années montrent que la croissance du réseau de distribution a du mal à suivre celle de la demande de pointe . Avouons qu' il est stupide d' engager des milliards de francs d' investissement dans un réseau utilisé à pleine capacité quelques jours, voire quelques heures, par an.

Enfin, le choix du C.E.I a une dernière conséquence économique. Si l'installation d'un chauffage électrique intégré est moins chère que celle d' un chauffage central traditionnel, c'est en partie parce que le matériel est moins cher. Mais c'est surtout parce qu'il faut beaucoup moins de main d' oeuvre . Le choix , à grande échelle, du C.E.I contribue donc au marasme que connait le secteur du bâtiment.

Conclusion

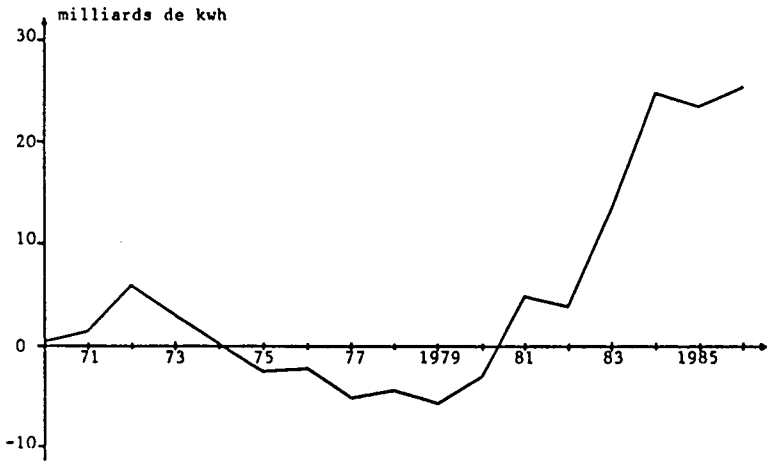
Seuls les promoteurs immobiliers sont gagnants dans le choix du chauffage électrique . Pour la communauté nationale, le C. E. I, loin de permettre une diminution de consommation des combustibles importés, en consomme environ deux fois plus que les systèmes de chauffage traditionnels. Il contribue donc au déficit commercial de la nation. Pour l'utilisateur final, au-delà du leurre que constitue un moindre coût d'installation, le C. E.I se révèle beaucoup plus coûteux à l' usage que les systèmes traditionnels et l'avantage initial du coût d' installation est mangé en quelques saisons de chauffe. Ceci est vérifié aux prix actuels alors que l'électricité hivernale est largement sous-payée par les particuliers . Pour E.D.F enfin , le C.E.I impose de coûteux surdimensionnements de l' appareil de production et du réseau national de distribution électrique.

LES EXPORTATIONS D'ELECTRICITE

Les échanges d'électricité entre pays voisins existent depuis de nombreuses années. Jusqu'à ces dernières années, ils permettaient de passer les pointes de consommation de chacun des pays en utilisant les appareils productifs des voisins. Les échanges avaient un caractère ponctuel et leur solde , positif ou négatif , restait faible devant la production nationale d' électricité.

A la suite du premier choc pétrolier , notre pays a décidé, à la hâte, la construction d'un important parc électronucléaire, dimensionné sur les prévisions faites à l' époque. Lorsque, au tout début des années 80 , les premières centrales sont entrées en phase de production, les conditions avaient changé et les responsables se sont rendus compte que les besoins avaient été largement sur - estimés et que la capacité de production risquait d' être très sous-employée . Il convenait donc de trouver de nouveaux débouchés à l' électricité produite.

Figure 24: Echanges d'électricité entre la France et les pays voisins de 1970 à 1986.



Comme les pays limitrophes avaient eu une politique plus timide (ou plus sage) en matière de construction de centrales nucléaires, il a été décidé de chercher à y écouler la production excédentaire. La figure 24 montre les échanges d'électricité entre la France et ses voisins de 1970 à 1986 (31). On peut y constater que la politique d'exportations a été un réel succès puisque, dès 1984, le niveau des exportations dépassait 5% de la production française d'électricité.

Pour qu'une progression aussi rapide et aussi importante des exportations soit obtenue, il était nécessaire que le prix de vente de l'électricité soit attractif et, en particulier, inférieur au prix de revient de l'électricité produite localement. Il fallait aussi qu'E. D. F ne perde pas d'argent en produisant cette électricité. La détermination d'un tarif répondant à ces deux objectifs avait été possible par la mise en application de la théorie des coûts marginaux de pro-

duction.

Le coût marginal de production: qu'est ce que c'est?

Le coût marginal de production est ce que coûte de plus une production supplémentaire. Plutôt qu'un long exposé, un petit exemple peut expliquer comment est évalué ce coût.

Le tableau I (page 16) donnait les prix de revient officiels de l'électricité nucléaire évalués en 1985. Le prix médian était de 22,7 centimes / kwh pour 8 760 heures de fonctionnement, 38,8 cts/kwh pour 4000 heures de fonctionnement et 70,6 cts/kwh pour 2000 heures.

Supposons que la consommation normale permette de faire fonctionner une centrale pendant 2000 heures par an. S'offre alors l'opportunité de la faire fonctionner 2 000 heures de plus. Quel est le coût de cette production supplémentaire? Il est égal à:

$$\frac{(38,8x4\,000) - (70,6x2\,000)}{4\,000 - 2\,000} = \frac{155\,200 - 141\,200}{2\,000} = 7cts/kwh$$

La production des 2 000 premières heures étant déjà vendue, il suffit que l'on vende la production supplémentaire à un prix supérieur à 7 cts du kwh pour que cela soit rentable pour le vendeur.

Ce mode de calcul est tout à fait valide au plan économique. Mais, plaçons-nous du côté de l'acheteur. Le premier acheteur, qui a pris les 2 000 premières heures de production, va payer son électricité au moins 70,6 cts /kwh. Le deuxième, qui a pris le surplus, ne va payer son électricité que 7 cts / kwh soit dix fois moins cher. Il y a là une inégalité de traitement qui est choquante.

Les conséquences de la théorie des coûts marginaux

L'application par E.D.F de la théorie des coûts

marginaux à l' exportation d' électricité a des effets tout à fait pervers, amplifiés par la situation monopolistique d'E.D.F en France.

En effet, dans notre pays, les acheteurs potentiels d' électricité n'ont aucun choix. Ils doivent s' adresser à E.D.F. Ils constituent donc le premier acheteur de l' exemple évoqué plus haut. Le second acheteur est constitué par les organismes de distribution d' électricité des pays voisins. A l'étranger, E.D.F propose donc de l'électricité à des prix très inférieurs à ceux pratiqués en France. La société de distribution qui achète de l'électricité à E.D.F décide elle-même de sa propre politique tarifaire. Elle répartit donc comme elle l' entend les gains économiques faits grace à ses achats à E.D.F.

Si elle en fait profiter les ménages, ceux-ci paient moins cher l' électricité grace aux ménages français qui ne bénéficient pas des mêmes avantages et qui, d' une part ont la plus grosse partie des nuisances des centrales nucléaires en fonctionnement (et le plus gros des risques en cas d'accident) et, d'autre part participent par le biais de l' impôt au financement de la recherche nucléaire et paieront le futur déclassement des centrales.

Si elle en fait profiter l'industrie, les industriels voient leur compétitivité améliorée par rapport à leurs concurrents français qui, en plus, paient eux aussi la recherche dans le domaine nucléaire par le biais de l' impôt sur les sociétés et qui paieront, s' ils n' ont pas fait faillite d' ici là, le déclassement des réacteurs.

De la théorie à la pratique

Dans la pratique, quelles sont les conditions et les conséquences des exportations? Pour ce qui est des prix pratiqués et bien qu' un voile pudique soit jeté sur les conditions de la plupart des contrats, les

chiffres fournis dans le bilan annuel d'E.D.F sont révélateurs. Ainsi, en 1986, E.D.F a vendu à l'étranger 25,4 milliards de kwh pour 5,3 milliards de francs soit un prix moyen du kwh de 20,9 centimes. En France, les 288,1 milliards de kwh vendus pour 128,6 milliards de francs ont un prix moyen de 44,6 centimes.

Savoir qui profite ainsi des largesses d'E.D.F n'est guère plus simple. Il semble que les grands bénéficiaires soient les industries grosses consommatrices d'électricité. Elles voient leur compétitivité par rapport à leurs concurrents français largement améliorée. E.D.F prend donc une part non négligeable dans l'affaiblissement de l'industrie nationale et dans son corrolaire: la montée du chômage.

Bonne affaire pour E.D.F, mauvaise pour la France

Interrogé sur l'intérêt des exportations d'électricité, un ministre chargé du commerce extérieur avait répondu que les contrats d'exportation étaient "mutuellement avantageux" pour E.D.F et ses clients. Par contre, pour la collectivité nationale, l'exportation d'électricité, dans les conditions économiques dans lesquelles elle se pratique, est néfaste car elle affaiblit l'industrie nationale vis à vis de ses principaux concurrents.

Faut-il, pour cela, renoncer à toute exportation d'électricité? Dans la mesure où un appareil de production est déjà utilisé pour la consommation nationale, il n'est pas mauvais d'utiliser au mieux son potentiel et de vendre le surplus de l'électricité à l'étranger. Encore faut-il que les prix pratiqués ne soient pas nuisibles pour l'économie nationale. Il faut donc que la baisse du prix de revient engendrée par les exportations soit répartie équitablement entre clients nationaux et clients étrangers. Il faut aussi que le calcul du prix de revient de l'électricité d'origine nucléaire soit plus réaliste et englobe les frais de

recherche , ceux du futur déclassement , de manière générale toutes les " omissions " qui sont actuellement faites.

CONCLUSION

CONCLUSION

"Le nucléaire est-il rentable?" nous demandions-nous au début de cette étude . La réponse à cette question est multiple. Si on ne considère que le prix de revient de l'électricité nucléaire, nous avons vu que les chiffres officiels disaient que le nucléaire n' est rentable que si la centrale fonctionne plus de 3 100 heures par an. Cependant, si on tient compte de tous les éléments qui ne sont pas pris en compte dans le calcul officiel des prix de revient (endettement d' E. D. F, coût de la recherche , provision pour le futur déclassement), la plage de rentabilité se réduit puis s' annule, si bien qu'en fin de compte l'électricité d'origine nucléaire est toujours plus chère que celle fournie par une centrale à charbon désulfuré. Si enfin, on ajoute à cela la diminution du nombre de centrales engagées chaque année , la baisse du dollar et celle qu' on peut attendre du charbon , l' électricité nucléaire devient un luxe qu'un pays en crise économique ne peut s'offrir.

CONCLUSION

Si on considère l' impact économique global du nucléaire, le tableau est encore plus noir. Si les sommes investies dans les centrales nucléaires étaient utilisées pour des opérations d'économie d'énergie, la quantité d'énergie économisée serait équivalente voire supérieure à celle produite par les centrales nucléaires, le nombre d' emplois créés serait supérieur . Les deux conséquences les plus visibles de choix de nucléaire sont , toutes deux, économiquement néfastes . Le chauffage électrique intégré consomme, en fait, plus d'énergie fossile que les chauffages classiques qu' il est censé remplacer. Il coûte beaucoup plus cher, à terme, pour les individus comme pour la collectivité. Les exportations d'électricité, quant à elles, si elles sont bénéfiques pour E. D. F , sont , dans les conditions financières où elles sont actuellement faites , néfastes pour l'économie nationale car elles favorisent la compétitivité des industries étrangères au détriment des françaises . Elles participent à la croissance du chômage dans notre pays.

Si cette conclusion se terminait là, elle ne serait pas très constructive . Nous allons donc proposer des solutions pour tenter de faire diminuer les inconvénients mis en évidence.

La remise sine die de toute nouvelle construction

La première proposition concerne la construction de nouvelles centrales nucléaires . L' étude a montré que l'électricité nucléaire n'est pas rentable et que, même si la rentabilité réapparait , ce ne sera que pour des durées de fonctionnement extrèmement longues , proches du fonctionnement en base.

En face de ce constat , il y a une autre évidence, celle d'un parc électronucléaire déjà largement surdimensionné par rapport aux besoins du pays . E.D.F conteste fortement le surdimensionnement . Pourtant , les chiffres officiels sont là , incontournables . A la fin

de 1985 , la puissance nucléaire installée en France était de 37 765 Mwe. Une telle puissance thermique n' a été utilisée, pour la consommation nationale, qu'environ 850 heures dans l' année . Ceci signifie que les centrales nucléaires les moins utilisées ne sont pas économiquement justifiées , même avec les évaluations officielles des prix de revient de l'électricité d'origine nucléaire. En 1986, la situation s'est encore dégradée puisque la consommation d'électricité a augmenté d' environ 6 % alors que la puissance installée est passée à 44 980 Mwe soit une augmentation de plus de 19%. Ce problème du nombre de centrales économiquement justifiées fait l' objet d' une analyse plus détaillée, en annexe, en fin d'ouvrage.

Engager de nouvelles centrales nucléaires n'est pas économiquement justifié et notre première proposition consiste à ne plus commander de nouvelles centrales tant que l' évolution de la consommation d' électricité leur interdit d' atteindre le seuil de la rentabilité. A la place, nous suggérons que les sommes équivalentes soient investies par la collectivité dans des opérations d' économies d' énergie de façon à améliorer la situation tant au niveau de l' emploi qu' à celui de l' énergie.

Et si le nucléaire redevenait rentable?

Si le nucléaire redevenait rentable , il n' y aurait pas , au plan économique , de raisons pour empêcher la reprise de la construction des centrales . Encore faudrait-il avoir sérieusement évalué le prix de revient de l'électricité nucléaire. Nous suggérons que l'étude comparative des prix de revient prenne en compte les différentes omissions que nous avons signalées: endettement, coût de la recherche, du déclassement, même si une partie de ces coûts n'est pas actuellement supportée par le producteur d' électricité mais par la collectivité.

CONCLUSION

Les évènements de ces dernières années ont montré que le fonctionnement des centrales nucléaires pouvait être entravé par des incidents , voire de véritables accidents , qui ont des conséquences économiques non négligeables . Une annexe de cet ouvrage est consacrée au coût des accidents. Nous suggérons que, dans la détermination du prix de revient de l'électricité nucléaire , entre aussi en compte un accident toujours possible.

Enfin , si les nouvelles centrales qui pourraient être engagées devaient avoir une durée de fonctionnement prévisionnelle proche de la durée d'équilibre des prix entre nucléaire et charbon, nous proposons que le choix soit fait selon d' autres critères que le coût comme cela est expliqué en annexe.

Côté consommation

Du côté de la consommation d'électricité, nous avons vu que le chauffage électrique est une aberration économique puisqu'il consomme finalement beaucoup plus de combustibles fossiles importés qu' un chauffage traditionnel. Il convient donc de stopper son extension. Le seul avantage réel du chauffage électrique est son moindre coût à l'installation . C' est cette unique caractéristique qui explique son succés . C' est donc sur ce terrain qu' il faut le combattre soit en instaurant une taxe à l' installation qui peut aussi être conçue comme une avance sur consommation , soit par une aide pour l'installation d'autres types de chauffages soit par une combinaison des deux . Ceci doit s' accompagner d'une vérité des prix de l'électricité donc d'une saisonnalisation des tarifs pour les particuliers rendant mieux compte du suréquipement nécessité par la pointe de consommation hivernale.

Enfin , les exportations d'électricité , si elles se font , doivent se réaliser dans des conditions qui ne lèsent pas les consommateurs nationaux. En particulier

les coûts de l'électricité proposée à l'étranger ne doivent pas être inférieurs à ceux pratiqués dans le pays et tenir compte aussi des sommes payées par les industriels et particuliers français par le biais de l'imposition.

Le nucléaire: un art coûteux

Le dernier livre écrit dans notre pays à la gloire du nucléaire a pour titre:"L'ère nucléaire". Il était, parait-il, prévu de l'intituler "L'art nucléaire" avant l'accident de Tchernobyl. Au terme de cette étude économique, il nous semble que ce titre aurait été plus approprié car il parait évident que, comme pour les choix artistiques, le choix de l'énergie nucléaire a été fait en dehors de toutes considérations économiques sérieuses.

ANNEXES

ANNEXE 1

PRIX DE REVIENT DE L'ELECTRICITE PRODUITE PAR LES CENTRALES SURGENERATRICES

Un surgénérateur: qu'est-ce que c'est?

Parmi les nombreuses centrales nucléaires qui équipent notre pays, deux sont d'un type très particulier: il s'agit des surgénérateurs Phénix à Marcoule et Super-phénix à Creys-Malville.

Les surgénérateurs sont des centrales qui , au lieu de bruler de l'uranium 235 comme les centrales classiques , utilisent du plutonium déchet de ces centrales classiques et transforment de l'uranium 238 sans intérêt en plutonium susceptible d' alimenter à nouveau le surgénérateur . Certaines configurations particulières du coeur permettent théoriquement de produire plus de plutonium qu'il n'en est consommé. Les centrales génèrent alors plus de plutonium qu' elles n' en absorbent. Elles sont surgénératrices.

ANNEXE 1

Le principal avantage de ce type de centrale est d'extraire de l'uranium naturel la quasi-totalité de son énergie potentielle c'est à dire 50 à 70 fois plus que des centrales classiques. Le grand intérêt des surgénérateurs est donc d'être un recours contre une éventuelle pénurie, naturelle ou politique, d'uranium.

L'économie du surgénérateur

L'économie de ce type de centrale a fait l'objet d'études dont la dernière, à notre connaissance, est assez ancienne (32) puisqu'elle date de janvier 1984. Cette étude est due à l'adjoint au directeur général de l'industrie au ministère du même nom. Elle repose sur un certain nombre d'hypothèses dont une durée de construction de Super-phénix de 86 mois (soit 7 ans et 2 mois) contre près de 9 ans en réalité. Elle suppose aussi que les frais de recherche et de développement ne sont pas imputés aux coûts d'investissements (pas plus que pour les centrales nucléaires classiques) et que le plutonium est un produit fatal, à coût nul, de la filière nucléaire classique. Avec toutes ces hypothèses, qui minimisent le prix de revient, les services officiels ont établi une estimation du coût de l'électricité produite. Dans le tableau XIV, on compare les prix de revient pour un fonctionnement en base pour un surgénérateur type Super-phénix et pour une tranche nucléaire classique. Pour cette dernière, l'estimation prise ici est celle de l'époque.

Deux enseignements sont à tirer de ce tableau. L'électricité produite par le surgénérateur est plus de 2 fois plus chère que celle produite par une centrale nucléaire classique. L'évaluation du prix de revient pour une centrale nucléaire classique a, depuis lors, évolué à la hausse (voir tableau I, page 16). Il est probable que, pour le surgénérateur, l'évolution s'est faite dans le même sens.

Si on ajoute à ces constatations celle que l'évalu-

ANNEXE 1

TABLEAU XIV : Prix de revient , en centimes /kwh , de l' électricité produite par un surgénérateur ou une centrale nucléaire classique fonctionnant en base (8 760 h par an). Estimation de fin 1983.

TYPE DE CENTRALE	NUCLEAIRE CLASSIQUE	SURGENERATEUR
Investissements	8,5	22,6
Exploitation	3,2	5,0
Combustible	5,3	10,0
Total	17,0	37,6

ation a été faite dans les conditions minimisant les prix de revient , on peut dire qu' au plan économique, ce type de centrale n'est absolument pas justifié.

Une réponse à la pénurie d'uranium

C' est la justification officielle de ce type de centrale . Notons que le fort ralentissement des programmes nucléaires partout dans le monde lui enlève une grande part de crédibilité. Mais, ce qui lui enlève le reste , c' est l' évolution des réserves connues d' uranium.

La recherche d' uranium est une activité récente et les découvertes dépassent largement les consommations. En 1972, les réserves connues au prix du marché étaient de 3 millions de tonnes , elles sont passées à 5 millions de tonnes en 1985 et dépassent 7 millions de tonnes aujourd'hui. Elles représentent près de 2 siècles de consommation au rythme actuel. Si on accepte de payer l' uranium un peu plus cher , les réserves explosent sans que le prix de revient de l'électricité produite ainsi atteigne les sommets où se situe celui de l'électricité produite par les surgénérateurs. Quant à la pénurie politique , elle n' est pas à craindre à la fois à cause du stockage fait par E. D. F (au moins 5

années de consommation) et des réserves connues sur le sol national (20 ans de consommation).

Au plan économique, le surgénérateur n'a donc vraiment aucune justification.

ANNEXE 2

COMBIEN DE CENTRALES NUCLEAIRES RENTABLES EN 1985?

Pour déterminer si les centrales nucléaires ont été toutes rentables en 1985 , trois éléments sont nécessaires . Le premier est la puissance nucléaire installée , le deuxième le temps pendant lequel chaque puissance a été utile, le troisième enfin le temps de fonctionnement minimum pour qu'une centrale nucléaire soit rentable.

An début de l' année 1985 , la puissance nucléaire installée en France était de 33 245 Mwe. Au cours de l' année , de nouvelles centrales ont commencé leur production et deux prototypes ont été arrêtés si bien qu' à la fin de 1985 , la puissance nucléaire installée était de 37 765 Mwe.

Puissance utile: la monotone

Ces puissances , pendant combien de temps ont-elles

été nécessaires pour l'approvisionnement électrique du pays en 1985? La figure 21, page 87, donnait la consommation hebdomadaire d'électricité en France en 1985 ainsi qie la production d'électricité hydraulique . La différence entre les deux courbes donne la consommation hebdomadaire d'électricité d'origine thermique. On peut ensuite en déduire la puissance électrique thermique moyenne en divisant cette consommation par la durée d'une semaine (168 heures) . Enfin , on peut ranger ces puissances par ordre décroissant pour obtenir une courbe de la puissance utile en fonction du temps pendant lequel elle est nécessaire.

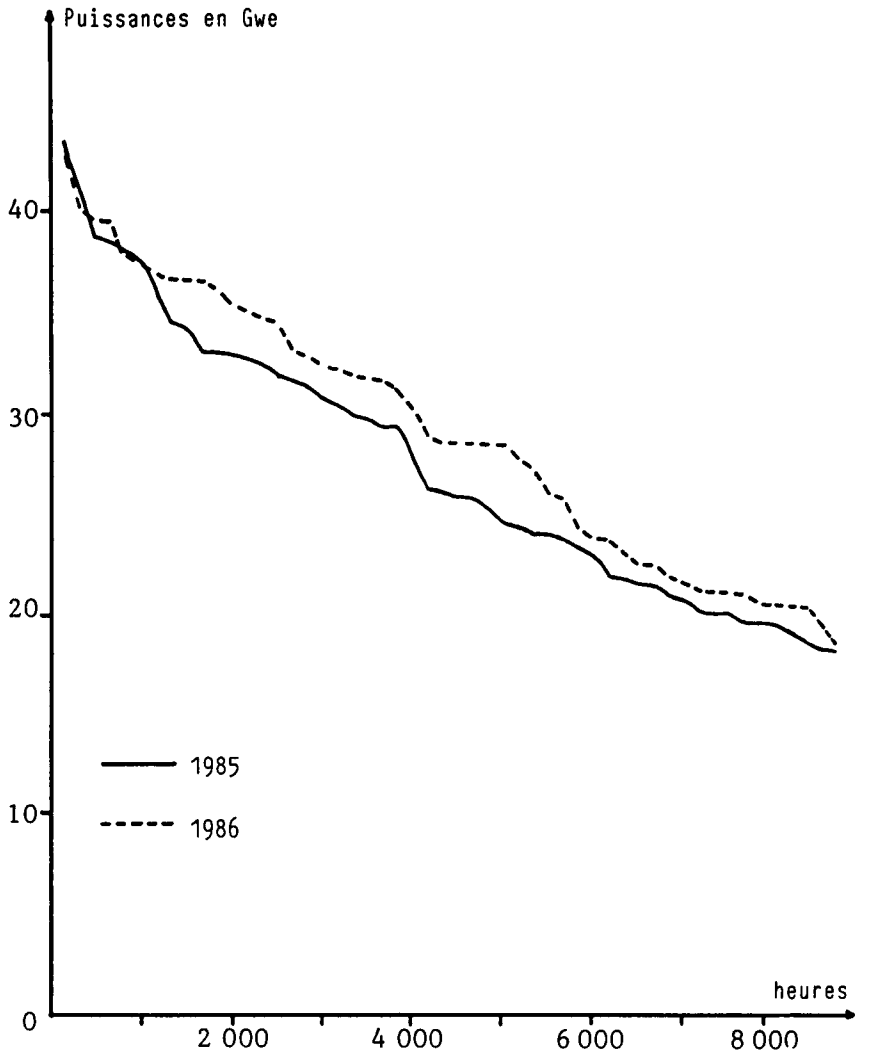
C'est ce qui a été fait dans la figure 25 pour les années 1985 et 1986 (33). La courbe de la puissance en fonction de la durée est ce qu'on appelle une monotone. Normalement , c'est la puissance instantanée qui est prise en compte. Dans cette figure, les puissances sont des puissances moyennes hebdomadaires . Nous obtenons donc une approximation de la monotone. L'approximation est mauvaise aux deux extrémités de la courbe (grosso modo pour les durées de fonctionnement inférieures à 500 heures ou supérieures à 8 000 heures) en raison de l'effet de lissage de la moyenne . Par contre, partout ailleurs, l'approximation est bonne.

Evaluation du suréquipement

Le troisième élément, la durée minimum de fonctionnement pour qu'une centrale soit rentable, dépend beaucoup de la façon dont on calcule le prix de revient de l'électricité. Si on s'en tient aux données officielles, cette durée est de 3 100 heures. En 1985, la puissance utilisée pendant plus de 3 100 heures était inférieure à 30 500 Mwe . C'est donc environ 2 750 Mwe en début d'année et 7 250 Mwe en fin d'année qui , dans le parc de production nucléaire , n'avaient pas de justification économique. Cette évaluation du surdimensionnement du parc électronucléaire mérite cependant d'être tempérée.

ANNEXE 2

Figure 25: Monotone de la consommation nationale d'électricité d'origine thermique en 1985 et 1986.



En effet, nous supposons ici que toutes les centrales sont simultanément utilisables . En réalité , les centrales nucléaires ont des périodes d'indisponobilité, en particulier pour leur rechargement en combustible nucléaire . Bien entendu , on cherche à ce que ces périodes d'indisponibilité se situent à des moments de faible demande en électricité de façon à ne pas perturber la production. Cependant, certaines causes fortuites et des impératifs de calendrier font que la capacité de production n'est pas totale en période de demande de pointe. Nous pouvons admettre, en étant larges , que 5 % de la capacité installée est indisponible en période de pointe . La puissance nucléaire disponible en début 1985 était alors de 31 580 Mwe et elle est passée à 35 876 Mwe en fin d'année . Le suréquipement, pour la consommation intérieure, était alors d'environ 1 000 Mwe en début d'année 1985 et de 5 500 Mwe (soit environ 6 tranches de 900 Mwe ou 4 de 1 300 Mwe) en fin d'année.

Mais nous avons vu que le prix de revient officiel est largement sous-estimé. Si on prend en compte l'endettement d'E.D.F , les centrales nucléaires perdent toute justification économique . Si on prend en compte le seul coût de la recherche , la durée de fonctionnement d'équilibre est de 4 800 heures et la puissance utile est limitée à 25 500 Mwe . Le suréquipement est alors de 6 400 Mwe (6,5 tranches de 900 Mwe ou 4,5 de 1 300 Mwe) en début d'année et de 10 900 Mwe en fin d'année (12 tranches de 900 Mwe ou 8 de 1 300 Mwe). Si on ne tient compte que du déclassement , la durée d'équilibre de 3 600 heures conduit à une puissance utile de 29 500 Mwe. Le suréquipement passe à 2 000 Mwe en début d'année et 6 500 Mwe en fin d'année.

Et en 1986?

En 1986 , différents éléments font croître très rapidement le suréquipement . Le premier d'entre eux est

la différence de croissance entre consommation d'électricité et puissance du parc électronucléaire. La consommation d'électricité a crû de 6% alors que la puissance du parc électronucléaire passait à 44 980 Mwe soit une augmentation de plus de 19 % . Les autres éléments sont l'évolution du nombre de centrales mises en construction chaque année , l' évolution du dollar et celle des cours des combustibles fossiles qui , tous conduisent à des augmentations des durées d'équilibre.

Pour 1986, si on ne tient compte que des prix officiels et en gardant 5 % de la capacité nucléaire comme secours, la puissance utile pendant 3 100 heures est de 32 200 Mwe et conduit à des suréquipements de 3 800 Mwe en début d' année et de 11 000 Mwe en fin d' année . En fin d'année 1986, même en ne tenant compte que des prix de revient officiels, une centrale nucléaire sur quatre n' avait pas de justification économique . Si on ajoute aux prix de revient officiels les évolutions évoquées plus haut, la durée de fonctionnement d'équilibre passe à 6 000 heures et la puissance utile à 23 800 Mwe . En fin d'année 1986, c'est alors près de 45% des centrales nucléaires qui sont sans justification économique . Si on y ajoute encore les différentes omissions faites dans le calcul du prix de revient, aucune centrale nucléaire n'était rentable en 1986.

Conclusion

Depuis quelques années déjà , la presse s' est fait l'écho d'avis d'experts pensant qu'au début des années 1990 , notre pays serait suréquipé en centrales nucléaires . Tout récemment , E. D. F , tout en niant le suréquipement, admettait qu'elle disposerait, en 1990, de 5 tranches d'avance (que la métaphore est jolie). Pour les uns comme pour les autres , le suréquipement n' est envisagé qu'au futur. Nous venons de montrer que, dans les faits , le suréquipement , c' est déjà aujourd' hui. Déjà hier, à la fin de 1986, d'après les chiffres mêmes

d'E. D. F , 11 000 Mwe de puissance nucléaire n' étaient pas rentables. Ce suréquipement est coûteux pour l'économie nationale à double titre: il se retrouve dans le prix du kwh et pésera longtemps sur lui, il empêche d' utiliser la capacité d'investissement à d'autres fins. Peut-être est-il temps de ne pas amplifier ses effets néfastes en cessant de construire de nouvelles centrales nucléaires?

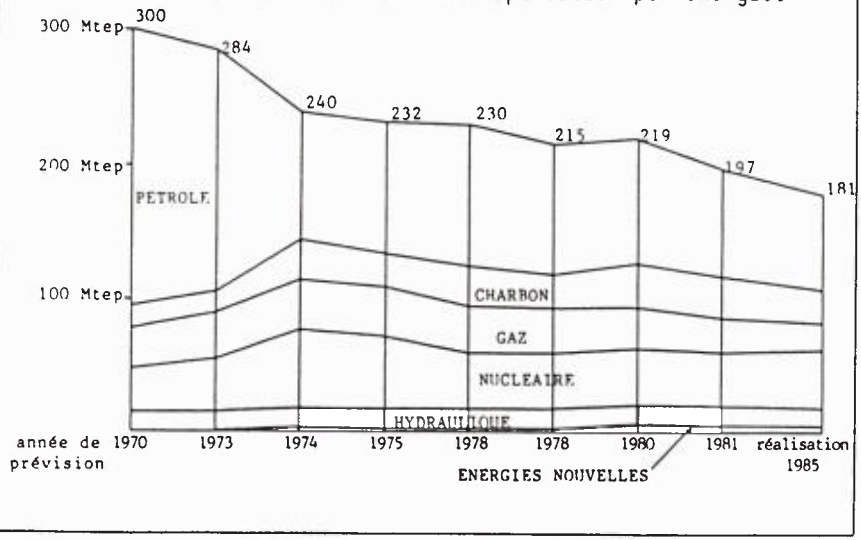
ANNEXE 3

A COUT EGAL, QUELLE CENTRALE CHOISIR?

Une notion dont il a beaucoup été question dans cet ouvrage est celle de durée de fonctionnement d'équilibre. C'est le temps de fonctionnement d'une centrale pour lequel le prix de revient de l'électricité produite est le même que la centrale soit nucléaire ou au charbon. Quand on a à constriure une centrale dont la durée de fonctionnement prévisionnelle est proche de la durée d'équilibre, ce n'est donc pas sur le prix de revient qu'on peut se baser pour choisir entre centrale nucléaire et centrale au charbon. Sur quel autre argument peut-on étayer le choix de l'une ou l'autre solution?

Nous venons de parler de durée de fonctionnement prévisionnelle. En effet, lorsqu'on décide la construction d'une centrale de quelque nature que ce soit, on ne sait pas quelle sera sa production effective, on peut seulement la prévoir. Encore faut-il savoir quel

Figure 26: Prévisions de consommation d'énergie pour 1985, consommation réelle et répartition par énergie.



crédit on peut accorder aux prévisions énergétiques? Si on s'en réfère à ces dernières années, ce crédit est assez faible. On peut l'illustrer par la figure 26 qui a servi dans de nombreux articles pour informer sur les malheurs de la prévision énergétique (34). La référence donnée ici est l'un d'entre eux. La figure présente, en fonction de l'année où elles ont été faites, les différentes prévisions de consommation pour l'année 1985 et leur répartition par énergie ainsi que la consommation réelle. On peut constater la différence importante existant entre la prévision et la réalité. Dans le cas de l'année 1985, les prévisions avaient systématiquement et largement surestimé la consommation.

Une autre constatation que l'on peut faire, et qui est heureuse, est qu'au fur et à mesure que l'on s'approchait de l'échéance, les prévisions étaient de moins

en moins fausses. On peut donc accorder plus de crédit aux prévisions à court terme qu'à celles à long terme. Nous pouvons en tirer un argument pour le choix de notre centrale. En effet, la durée de construction d'une tranche nucléaire est de 6 ans alors que celle d'une tranche au charbon est de 4 ans. Choisir une tranche au charbon permet de disposer, au moment du choix, d'une meilleure estimation de l'utilité réelle.

C'est pourquoi nous préconisons, lorsque la durée de fonctionnement prévisionnelle d'une centrale est proche de la durée d'équilibre, de choisir une centrale au charbon ce qui permet d'attendre deux ans de plus pour affiner son dimensionnement.

ANNEXE 4

LE COUT DE L'ACCIDENT

Dans les études faites ici , nous n' avons pas pris en compte les conséquences économiques d' un accident toujours possible . Dans les données officielles , un accident est considéré comme tellement improbable qu' il n'est pas pris en compte.

Cependant , l' accident de Tchernobyl, qui avait une probabilité infime, s'est quand même produit.

Cependant , de multiples incidents de bien moindre importance se produisent chaque année dans les centrales nucléaires françaises.

Nous distinguerons ici d'une part le coût des incidents (fréquents , mais sans conséquences importantes pour l' homme) et , d' autre part , celui des accidents majeurs.

ANNEXE 4

Le coût des incidents

Pour le coût des incidents, nous n'avons que peu de chiffres. Il en a cependant été donné pour la fuite de sodium du " barillet " du surgénérateur Super - phénix. Le coût de la réparation, sur une centrale qui n'a pratiquement pas encore fonctionné, est évalué à 400 millions de francs (soit environ 7,3 francs par Français) sur un coût d' investissement total d' environ 20 milliards de francs . A lui seul , cet incident augmentera d'environ 1 % le prix de revient de l' électricité produite par Super-phénix.

Un incident d' un coût aussi élevé est loin d' être isolé . Dans ce livre , on peut examiner la figure 18 (page 69) et plus précisement la courbe inférieure. On peut y constater, en 1982, une augmentation brusque du prix de revient de l' électricité . Aux dires mêmes d' E.D.F (17), cette augmentation était due au changement de broches qui avait dû être réalisé dans les centrales nucléaires à la suite de la rupture accidentelle d'un certain nombre d'entre elles.

Enfin, autre exemple d'incident dont le coût économique est loin d' être négligeable : la centrale CHINON A3. Cette centrale, du type graphite-gaz, est à l'arrêt depuis le 5 mai 1984 pour réparation des structures internes du réacteur endommagées lors d' un accident. Un robot , ISIS , a été réalisé pour la réparation des dégats . Depuis trois ans , les travaux se poursuivent sur ce réacteur. Le coût de l'opération n'est pas connu mais on peut savoir que les robots ISIS ont demandé 100 000 heures d'études et 35 000 heures d'usinage (35).

Le coût d'un Tchernobyl français

Depuis l' accident de Tchernobyl , un certain nombre d'études économiques et d'informations ont été publiées sur le coût d' un tel accident . Pour ce qui est de la France, le centre de documentation et d'information de

l'assurance (C.D.I.A) a évalué le coût d'un accident semblable à celui de Tchernobyl (36). Le montant des indemnités à verser aux victimes s'élèverait à 620 millions de francs qui se décomposent en 20 millions de francs pour les familles des 50 disparus (400 000 francs par mort), 100 millions de francs pour 100 invalides et 300 millions de francs pour les frais d'hopital. En outre 200 millions serviraient pour les frais d'hébergement des 100 000 personnes éloignées de leur domicile pendant 2 (oui , vous avez bien lu , deux) jours . Les pertes de production agricole et industrielle, non prises en compte dans le total des indemnités , sont évaluées à 250 millions de francs par le même organisme.

Qui paierait ces sommes? E.D.F a souscrit une assurance de 50 millions de francs . Au delà , et jusqu'à 300 millions de francs , c'est l'état , donc le contribuable , qui interviendrait pour le dédommagement des victimes. Enfin, les autres Etats, signataires de l'accord international d'assistance, apporteraient les 300 derniers millions. Remarquons tout de suite le caractère approximatif de ce financement . Rien n'est prévu pour les 250 millions de francs de pertes agricole et industrielle et, pour le reste, seuls 600 millions sur 620 sont financés . Remarquons aussi le montant dérisoire de l'assurance souscrite par E.D.F.

Les conséquences économiques du vrai Tchernobyl

Une telle évaluation du prix d'un accident nucléaire majeur semble tout à fait dérisoire, surtout comparée à l'expérience réelle de Tchernobyl . Ainsi, alors qu'en France 100 000 personnes sont déplacées pour deux jours, à Tchernobyl, les 135 000 personnes déplacées le sont , au jour où ces lignes sont écrites , depuis 400 jours . Le coût de l'éloignement équivalent en France serait, à lui seul, d'environ 40 milliards de francs.

L'accident de Tchernobyl a un coût financier qui a été évalué par les experts soviétiques . Le premier

chiffre donné a été de 20 milliards de francs (37) puis , plus récemment de 30 milliards de francs (36). D'autres informations donnent à penser que ces chiffres risquent d' être largement dépassés . Dès juillet 1986 (38) , on apprenait qu' une nouvelle station de pompage avait été construite pour alimenter en eau la ville de Kiev depuis une rivière , la Desna , évitant la région de Tchernobyl. Le 9 mars 1987 (39), la température maximum à l' intérieur de la centrale accidentée était encore de 120 degrés alors que le sarcophage dans lequel elle est enfermée était recouvert d' une épaisse couche de neige. C'est la fonte de cette neige, largement contaminée qui posait problème et, quelques jours plus tard (40), le dispositif de protection de la région contre les dangers de diffusion de la radioactivité à cause de la fonte des neiges était mis en place. L'eau, venant de la fonte, devait être envoyée par des canaux de dérivation vers certains lacs sacrifiés tandis que d' autres lacs avaient eu leurs berges surélevées et étaient entourés de digues de façon à ce qu' ils ne soient pas atteints par les eaux de fonte des neiges. Le but était de garder des sources d'eau potable si les réserves habituelles de Kiev étaient contaminées. Les moyens mis en oeuvre étaient considérables puisqu'un brise-glace était en place et que le personnel était en état d'alerte 24 heures sur 24.

Enfin, un article du 9 juin 1987 (41) racontait une visite d'E.D.F à Tchernobyl. Il y apparait que le périmètre de 30 kilomètres autour de la centrale est encore fortement radioactif et interdit à la population . Au moins 20 000 personnes sont encore employées pour décontaminer la zone et le but n'est pas la décontamination totale mais l'entretien de couloirs "propres" pour atteindre les zones industrielles intéressantes . Les soviétiques pensent , par contre , illusoire de vouloir rendre bientôt la zone à une vie normale. Dans une évaluation correcte du coût d'un accident, il conviendrait donc d' ajouter aux coûts directs la valeur de tout ce

qui se trouve dans la zone évacuée autour de la centrale sinistrée.

Conclusion

On peut donc finalement dire que le coût réel d'un accident nucléaire majeur en France serait sans commune mesure avec les 600 millions de l'estimation du C.D.I.A. C'est plutôt à quelques centaines de milliards de francs qu'on peut évaluer ce coût.

La conclusion de ce livre était qu'au plan économique, il n'était absolument pas justifié de construire de nouvelles centrales nucléaires. Par contre l'exploitation des centrales existantes, en dehors de l'utilisation actuelle pour les exportations, n'était pas remise en cause. Les investissements sont déjà faits et, dans ce cas, le prix d'exploitation est plus faible pour les centrales nucléaires. Deux éléments peuvent remettre en cause ce constat. Le premier est le coût de la gestion des déchets qui sont produits par les centrales. Ce sujet n'a pas été abordé dans cet ouvrage en raison de notre manque d'information. Ce coût de gestion peut être assez élevé pour enlever tout intérêt économique même aux centrales existantes. Le second élément est le coût de l'accident. Si on tient compte du coût d'un éventuel accident majeur, coût qui serait équivalent à l'investissement fait pour l'ensemble des centrales nucléaires existant en France, et si on considère que, comme le pensent la majorité de nos concitoyens (42), la probabilité d'accident est forte, il devient économiquement justifié de stopper, le plus vite possible, les centrales nucléaires fonctionnant actuellement dans notre pays.

ANNEXE 5

EQUIVALENCES ENERGETIQUES

Dans le corps du texte, nous avons pris pour argent comptant l'équivalence énergétique de l'électricité qui est officielle en France : 0,222 tep = 1 000 kwh. Pourtant, il en existe une autre adoptée à la fois par la communauté scientifique et par l'O.N.U . Ajoutons que c'est cette seconde équivalence qui découle de la stricte application du système international de mesure la système S.I . Cette autre équivalence de l'électricité est: 0,085 tep = 1 000 kwh.

D'où vient la différence et quelle est la bonne valeur ? Si on raisonne en physicien , il est évident que, seule, la seconde équivalence est acceptable. Mais il n'est pas moins vrai que la première correspond à une certaine logique. En effet, les équivalences officielles françaises, qui sont aussi celles adoptées par l'O.C.D.E, sont basées sur l'hypothèse qu'il faut, dans une centrale thermique, 0,222 tep de combustibles pour

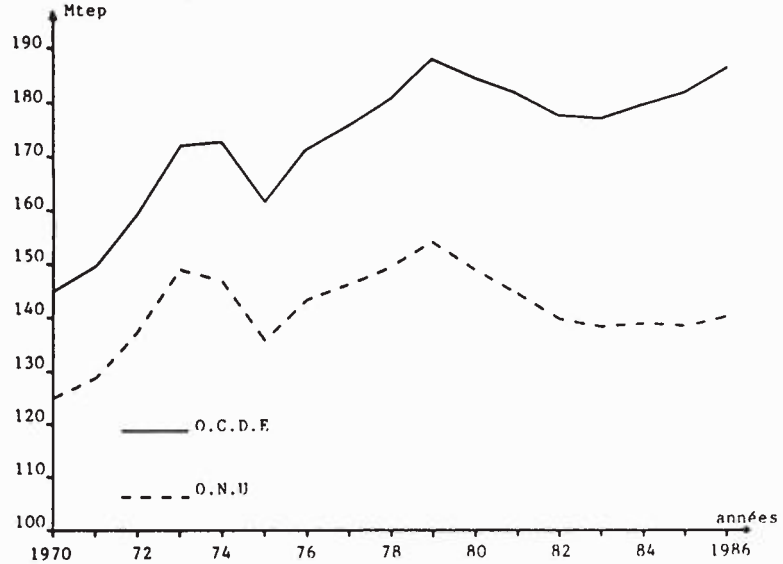
produire 1 000 kwh. Ceci parce que le principe de Carnot limite le rendement d' un moteur thermique . L' équivalence retenue correspond à un rendement de l' ordre de 38%, ce qui est déjà un bon résultat.

L' équivalence adoptée dans notre pays est-elle licite? Pour un scientifique, surement pas, mais pour un économiste , elle est défendable lorsque l' électricité est destinée à certains usages.

Quand l' électricité est utilisée pour des usages spécifiques comme l'éclairage ou l'électrolyse, l'économiste est désarmé car l' électricité n' est pas remplaçable. L'équivalence n'a pas de sens économique. Il semble donc que ce soit , dans ce cas , au scientifique de se prononcer. L' équivalence O.N.U est plus appropriée . Lorsque l' électricité sert à faire tourner un moteur, l'équivalence O.C.D.E semble licite car un moteur électrique a un rendement proche de 100% alors que le moteur thermique qui pourrait le remplacer a un rendement plus faible qui est , lui aussi , limité par le principe de Carnot. Enfin, si l'électricité est destinée à fournir de la chaleur , l' équivalence n' est absolument pas justifiée car la chaleur fournie directement par les combustibles n' est pas limitée par le principe de Carnot. Comme une part toujours plus grande de l'électricité produite sert à fournir de la chaleur, l'équivalence officielle est de plus en plus contestable.

Le choix de l'une ou l'autre des équivalences de l' électricité n' est pas tout à fait neutre . Nous avons déjà vu , dans le chapitre consacré au meilleur usage de l'investissement que, d'après l'équivalence O.C.D.E, l' énergie produite annuellement par une centrale nucléaire était équivalente à celle économisée par un investissement analogue dans les économies d'énergie. Mais, si on admet les équivalences de l'O.N.U, la quantité d' énergie économisée est plus de deux fois plus importante que celle produite par la centrale nucléai-

Figure 27: Consommation d'énergie en France de 1970 à 1986 avec les équivalences électriques O.C.D.E et O.N.U.



re. Ceci est un aspect micro-économique du choix de l'équivalence de l'électricité, mais il a aussi des conséquences macro-économiques . Nous étudierons ici son effet sur la consommation d' énergie , l' indépendance énergétique et l'efficacité énergétique de notre pays.

Consommation d'énergie

La figure 27 donne la consommation française d'énergie de 1970 à 1986 (31) . Les données sont les mêmes pour les deux courbes, seule l'équivalence énergétique retenue pour l' électricité est différente . Sur cette figure , on peut multiplier les constatations quand on l' analyse de façon de plus en plus précise . Tout d'abord, les deux courbes ont la même allure générale. C' est heureux puisqu'il s'agit des mêmes données. Ensui-

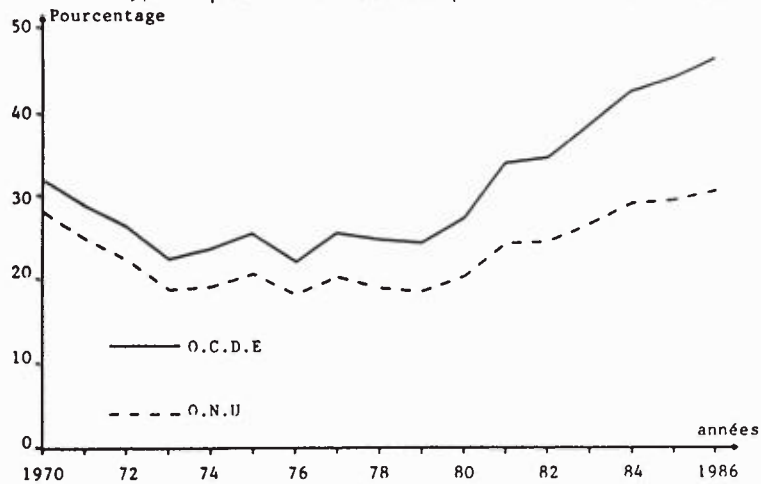
te, l'écart entre les deux courbes a beaucoup grandi entre 1970 et nos jours (beaucoup plus que l'augmentation de consommation ne le laisserait prévoir). Ceci traduit la part grandissante que prend l'électricité dans le bilan énergétique national. Enfin, si on considère l'évolution récente, on constate, sur la courbe O.C.D.E, qu'il y a une baisse de la consommation d'énergie de 1979 à 1983, suivie d'une nette reprise jusqu'en 1986. Sur la courbe de l'O.N.U, la baisse de consommation à partir de 1979 est encore plus prononcée et elle est suivie non d'une reprise mais d'une stagnation de la consommation. Malgrè la baisse très nette des encouragements en faveur des économies d'énergie, la consommation ne semble donc pas réaugmenter. Le fait que l'augmentation constatée sur la courbe O.C.D.E soit un artefact semble confirmé par l'évolution toute récente de la consommation. Au cours des neuf premiers mois de l'année 1987, la consommation, selon les normes O.C.D.E, a baissé de 1,5% par rapport à la même période de l'année 1986.

Indépendance énergétique

Le pétrole, le gaz, le charbon ne servent pas seulement à fournir de l'énergie. Cela peut aussi être des matières premières pour l'industrie, principalement chimique. La consommation totale de produits énergétiques est donc la somme de la consommation d'énergie et de la consommation de gaz, de pétrole et de charbon comme matières premières de l'industrie. L'indépendance énergétique d'une nation se mesure en divisant la production de produits énergétiques de la nation par sa consommation totale de produits énergétiques.

La figure 28 donne l'évolution du pourcentage d'indépendance énergétique de la France de 1970 à nos jours. Les deux courbes sont construites l'une avec les équivalences énergétiques de l'O.C.D.E, l'autre avec celles de l'O.N.U. Dans les deux cas, depuis l'

Figure 28: Taux d'indépendance énergétique de la France depuis 1970. Equivalences électriques O.C.D.E et O.N.U.

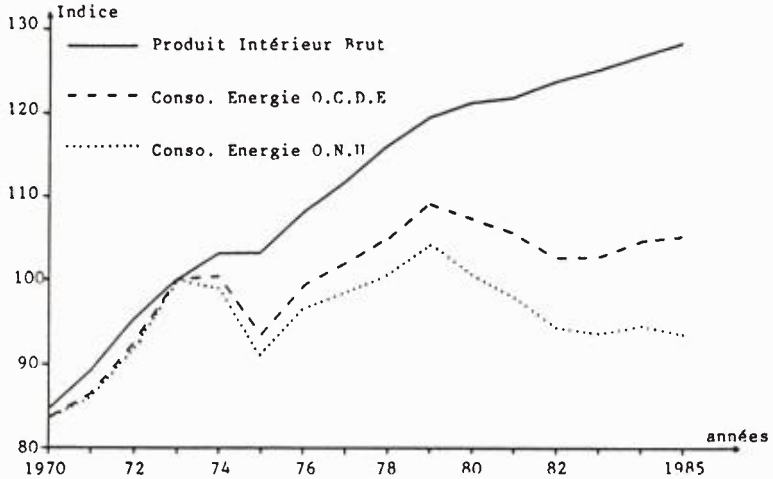


avènement du nucléaire à la fin des années 70, le taux d'indépendance énergétique a beaucoup augmenté. Mais le résultat final est très différent. Alors qu'avec les équivalences O.C.D.E, le taux d'indépendance énergétique de la France atteint presque 50% en 1986, avec celles de l'O.N.U, il est d'environ 30%. Les équivalences de l'O.N.U sont moins valorisantes pour notre amour-propre national, mais elles sont plus exactes.

Efficacité énergétique

On mesure l'efficacité énergétique d'un pays en comparant sa production de biens et sa consommation énergétique. La production de biens est généralement donnée par le Produit Intérieur Brut (P.I.B). Les mesures du P.I.B et de la consommation énergétique se font dans des unités totalement différentes. Le simple rapport des deux à un moment donné n'a donc pas une significa-

Figure 29: P.I.B et consommation énergétique (selon l'O.C.D.E et l'O.N.U) en France de 1970 à 1985.



tion très évidente. Par contre, l'évolution, au fil du temps, de ce rapport est importante.

Nous avons déjà donné une mesure de l' évolution de l' efficacité énergétique pour l' ensemble des pays de l' O.C.D.E (figure 20, page 82) . De nombreuses études ont abordé la problème de la mesure de cette efficacité dans notre pays . Pour certaines (43) , ce n' est qu' un élément dans une étude consacrée à un autre sujet . La croissance comparée du P. I. B et de la consommation d' énergie font l'objet d'une figure sans explication approfondie sur son obtention. Pour d'autres (44), il s' agit là d' un élément essentiel de l'étude menée . Dans ce dernier cas , ce qui est comparé est d' une part le P.I.B et d'autre part la consommation de produits énergétiques . Bien qu' il nous semble plus logique de ne considérer que la consommation d' énergie, nous avons, par souci d' homogénéïté , choisi la définition de la

dernière étude citée.

La figure 29 donne , de 1970 à 1985 , l'évolution du P.I.B et de la consommation de produits énergétiques. Cette dernière est exprimée avec les équivalences de l'O.C.D.E et celles de l'O.N.U. Un indice 100 commun à toutes les courbes a été pris en 1973 . Alors qu' avant cette date , P. I. B et consommation croissaient à peu près au même rythme et ce depuis longtemps (voir 44), depuis 1973 , il y a une nette bifurcation entre les courbes . Il faut de moins en moins d' énergie pour une même production . Si on admet qu' il fallait , en 1973, une unité d' énergie pour produire une unité de biens, en 1985 , d' après l' O. C. D. E , il ne fallait plus que 0,82 unité d' énergie et , pour l' O.N.U , il suffisait de 0,73 unité d' énergie . L' efficacité énergétique de notre pays a grandi et , en fait , bien plus que ne le laissent apparaître les statistiques officielles.

Conclusion

L' utilisation des équivalences énergétiques de l' O.N.U à la place de celles de l'O.C.D.E permet d'avoir une vue plus saine des tendances énergétiques . Ainsi, il est indéniable que le nucléaire a contribué à augmenter le taux d'indépendance énergétique du pays mais pas autant que l' on se plait généralement à le dire. D'un autre côté, l'évolution de la consommation d'énergie (forte baisse puis stagnation depuis 1979) montre l' impact très positif d' une politique volontariste d' économie d'énergie et sa prolongation lorsque la politique s'estompe. L'évolution de l'efficacité énergétique confirme le bénéfice que l'on peut tirer d'une volonté d'économiser l'énergie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Sondage GALLUP-L'EXPRESS D'AUJOURD'HUI publié par L'EXPRESS D'AUJOURD'HUI du 24 octobre 1986. Ce sondage a été réalisé du 25 au 28 aout 1986 auprès d'un échantillon de 1 009 personnes représentatif de la population française agée de 18 ans et plus. Méthode des quotas.

(2) Bilan et perspectives du programme nucléaire français. Enerpresse n°3965 du 4 décembre 1985.

(3) Coûts du kwh électrique des centrales fonctionnant "en base" par L.GOUNI Directeur-adjoint d'E.D.F. La revue de l'énergie n°374, mai-juin 1985.

(4) Le flou persistant du programme nucléaire italien. Enerpresse n°3836 du 3 juin 1985.

(5) Le montant de l'endettement d'E.D.F a été publié par de nombreux organes de presse le 2 février 1987 à l'occasion d'une baisse des tarifs d'E.D.F. On peut citer "Libération", "Le Quotidien de Paris", "Les Echos". Il est à remarquer, à propos de la

baisse des tarifs d'E.D.F, qu'elle est différenciée et que, pour la première fois, elle va dans le sens que nous préconisons. En effet, la baisse est plus forte pour les usages professionnels et industriels, plus faible pour les usages domestiques et même nulle pour les usagers domestiques ayant une maison chauffée à l'électricité.

(6) Le kwh nucléaire français a couté un peu plus de 17 centimes en 1984. Enerpresse n°3803 du 17 avril 1985.

(7) Extrait du bulletin d'information du groupe C.E.A, repris par la revue de l'énergie n°387 , novembre 1986, page 919.

(8) Le déclassement des réacteurs de puissance de grande taille. Enerpresse n°3973 du 16 décembre 1985 reprenant un texte publié dans le bulletin de l'A.E.N de l'O.C.D.E à l'automne 1985.

(9) Les coûts de déclassement des grands réacteurs de puissance. Enerpresse n°4212 du 28 novembre 1986 reprenant une étude publiée par l'A. E. N dans son bulletin (volume 4, n°1).

(10) Quarante ans de vie pour les centrales nucléaires françaises. Enerpresse n°3894 du 23 aout 1985.

(11) La prolongation de la durée de vie des réacteurs français. Enerpresse n°4287 du 19 mars 1987.

(12) BUGEY 1 et la longévité des centrales nucléaires. Enerpresse n°4300 du 7 avril 1987.

(13) Le fonctionnement des centrales nucléaires françaises.
Janvier 1986. Enerpresse n°4017 du 18 février 1986
Mai 1986. Enerpresse n°4102 du 24 juin 1986
Juillet 1986. Enerpresse n°4142 du 21 aout 1986
Aout 1986. Enerpresse n°4166 du 24 septembre 1986
Septembre 1986. Enerpresse n°4190 du 28/10/1986
Novembre 1986. Enerpresse n°4230 du 24/12/1986

Décembre 1986. Enerpresse n°4251 du 28 janvier 1987

(14)Faits et chiffres 1986 . Page 51 pour le charbon, page 101 pour le gaz et page 154 pour le pétrole.

(15)Bulletin mensuel de statistiques édité par l' Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (I.N.S.E.E). Numéros de l'année 1986 ainsi que de janvier et février 1987.

(16)Dossier des relations publiques d' E.D.F diffusé à l'occasion du quarantième anniversaire de cette dernière. Ce dossier est repris par la revue de l' énergie n°382, avril 1986, page 194.

(17)Note du service des relations publiques d' E. D. F reprise par la revue de l'énergie n°383, mai 1986, page 251.

(18)Conférence de presse annuelle d'Electricité De France . La revue de l' énergie n°371, février 1985 (donne la répartition de la production entre les différentes sources).

(19)Les performances économiques du programme nucléaire français de G. MOYNET et J.C. SOL (E.D.F) . La revue de l'énergie n°374, mai-juin 1985.

(20)Comparative review of U. S and French power plant construction projects. La revue de l'énergie n°374 mai-juin 1985.

(21)La maîtrise de l' énergie et l' emploi . Enerpresse n°3923 du 3 octobre 1985.

(22)Les perspectives de la politique de maîtrise de l' énergie en France. Extrait du rapport de la commission de la production et des échanges de l' Assemblée Nationale repris par le Bulletin de l' Industrie Pétrolière (B.I.P) n°5456 du 21 octobre 1985.

(23)Faits et chiffres 1986. Pages 78 à 83.

(24)Faits et chiffres 1986. Page 173.

(25)Maîtrise de l'énergie dans les pays industrialisés par B. LAPONCHE et M. LABROUSSE(A.F.M.E). La revue de l'énergie n°379, décembre 1985 - janvier 1986, page 509.

(26)Faits et chiffres 1986. Page 71.

(27)Bulletin mensuel de statistiques édité par l'I.N.S.E.E. Numéros de l'année 1985 et du début 1986.

(28)B.I.P n°5455 du 18 octobre 1985.

(29)Le dossier de l'énergie du groupe confédéral énergie de la C.F.D.T édité par Le Seuil dans la collection POINTS SCIENCES page 355.

(30)B.I.P n°5833 du 27 avril 1987.

(31)Bilans annuels de l'énergie publiés par l'Observatoire de l'énergie et édités par la documentation française.

(32)Surgénérateurs: le point de vue économique par Ph. LORINO, adjoint au directeur général de l'Industrie. Annales des Mines, janvier 1984.

(33)Bulletin mensuel de statistiques édité par l'I.N.S.E.E. Numéros des années 1985, 1986 et de janvier et février 1987.

(34)Heurs et malheurs de la prévision énergétique. Pétroles et Techniques n°324, avril 1986.

(35)ISIS au secours du nucléaire. Sciences et Avenir n°471, mai 1986.

(36)Les assureurs évaluent la facture d'un accident nucléaire en France. Enerpresse n°4267 du 19 février 1987. Page 3.

(37)Mourir pour l'atome. Le Monde dossiers et documents n°141, février 1987, page 13.

(38)Le niveau de radioactivité reste élevé autour de Tchernobyl, selon les IZVESTIA. Enerpresse n°4114

du 10 juillet 1986, page 2.

(39)La température baisse à Tchernobyl. Enerpresse n°4279 du 9 mars 1987, page 3.

(40)Les équipes de protection contre le dégel sont à pied d'oeuvre à Tchernobyl. Enerpresse n°4285 du 17 mars 1987, page 3.

(41)10 000 militaires et 10 000 civils décontaminent Tchernobyl. Le Matin du 9 juin 1987, page 11.

(42)Sondage IPSOS / Que Choisir sur les perspectives de l'an 2000 publié par Que Choisir n°225 de février 1987. Pages 8 à 10.

(43)L'énergie et la ville par Yu de HUI. La revue de l'énergie n°389, janvier 1987.

(44)Aléas et constantes des évolutions des consommations énergétiques par André MEALLIER et Philippe CHOUARD. La revue de l'énergie n°383, mai 1986.

Dans un sondage publié par l' EXPRESS en octobre 1986, 52% des Français considéraient qu' il ne fallait plus construire de centrales nucléaires contre 37% de l'avis contraire. Dans le même temps, 55% de nos concitoyens pensaient que le nucléaire est économiquement avantageux contre seulement 13% qui soutenaient l'inverse. Et pourtant...

Et pourtant, la rentabilité économique du nucléaire est plus que sujette à caution. C' est ce que veut montrer ce petit livre qui n'utilise pour cela que des données officielles et qui fournit les références bibliographiques dont elles sont issues.