

Les centrales nucléaires



Electricité de France

Electricité de France et l'énergie nucléaire

En 1974, le rôle du nucléaire est resté modeste dans la production française d'électricité : 8 % des 180 milliards de kWh produits, alors que le charbon est intervenu pour 15 %, l'hydraulique pour 31 % et le fuel-oil pour 36 %.

Le rôle prépondérant du fuel-oil doit d'ailleurs s'accroître encore à court terme. La production hydraulique en effet, faute de nouveaux sites rentables, ne progressera plus que très faiblement et les ressources disponibles en charbon sont elles-mêmes très limitées.

Si les combustibles fossiles étaient seuls disponibles pour alimenter les nouvelles usines thermiques, leur consommation devrait quadrupler entre 1970 et 1985, année où la consommation française devrait approcher 385 milliards de kWh.

Le recours massif aux importations eut été la seule solution en l'absence des centrales nucléaires dont l'apparition permet déjà de réduire la dépendance à l'égard de l'étranger. Mais on sait que le pétrole est devenu désormais un combustible cher dont la production ne sera pas indéfiniment croissante. Au début de 1974, le prix du fuel-oil s'est rapidement trouvé multiplié par 3.

Dès lors, une accélération massive du nucléaire s'imposait pour sauvegarder à long terme la croissance économique. C'est cette accélération que révèle le graphique de la page 14 qui laisse prévoir que la production nucléaire atteindra 70 % de la production totale française d'électricité en 1985.

1. Mise en service en 1972, la centrale "Bugey 1" est située sur le Rhône en amont de Lyon. D'une puissance de 540 mégawatts, elle termine la série des centrales "graphite-gaz".

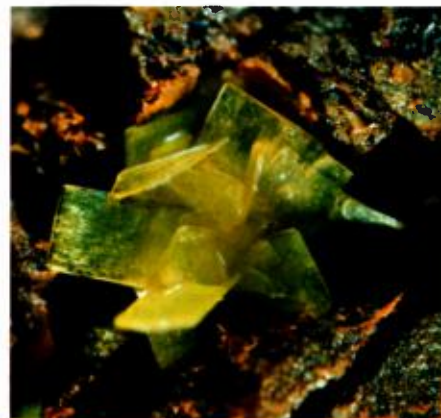
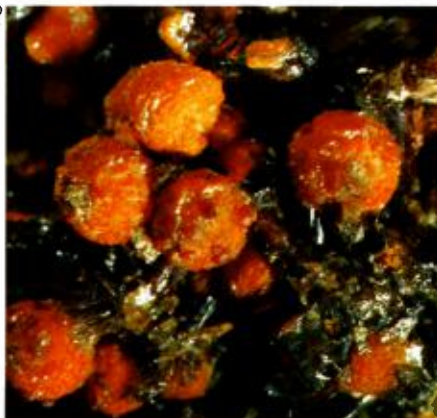
2. Minerais d'uranium : à gauche, francevillite extraite au Gabon - à droite : autunite. Ces cristaux sont grossis environ 8 000 fois.

3. Sur le site de Chinon, trois centrales prototypes de puissance croissante : Chinon 1 : 70 mégawatts (le réacteur est contenu dans la sphère), Chinon 2 : 210 mégawatts et Chinon 3 : 480 mégawatts, marquent les étapes du développement de la filière graphite-gaz.



Les réalisations nucléaires d'EDF

2



Les centrales à uranium naturel - graphite-gaz

A l'époque où fut entreprise la construction des premières centrales, l'uranium naturel était le seul combustible nucléaire à la disposition de la France.

EDF a d'abord réalisé un programme fondé sur l'utilisation de la filière uranium naturel (combustible) – graphite (modérateur) – gaz carbonique (fluide de refroidissement).

La voie a été ouverte à Marcoule avec la mise en route des installations EDF de récupération d'énergie des réacteurs du Commissariat à l'Energie Atomique. Les premiers kWh d'origine nucléaire furent ainsi produits dès 1956.

C'est près de Chinon, au bord de la Loire, qu'EDF a entrepris la construction des premières tranches nucléaires, comportant des prototypes expérimentaux de puissance rapidement croissante :

Chinon 1 de 70 MW* mis en service en 1963, arrêté en 1973, suivi de Chinon 2 (210 MW, 1965) et de Chinon 3 (480 MW, 1967).

Chacune de ces tranches a marqué une évolution par rapport à la précédente et les progrès réalisés ont conduit à un abaissement progressif du prix de revient du kW installé.

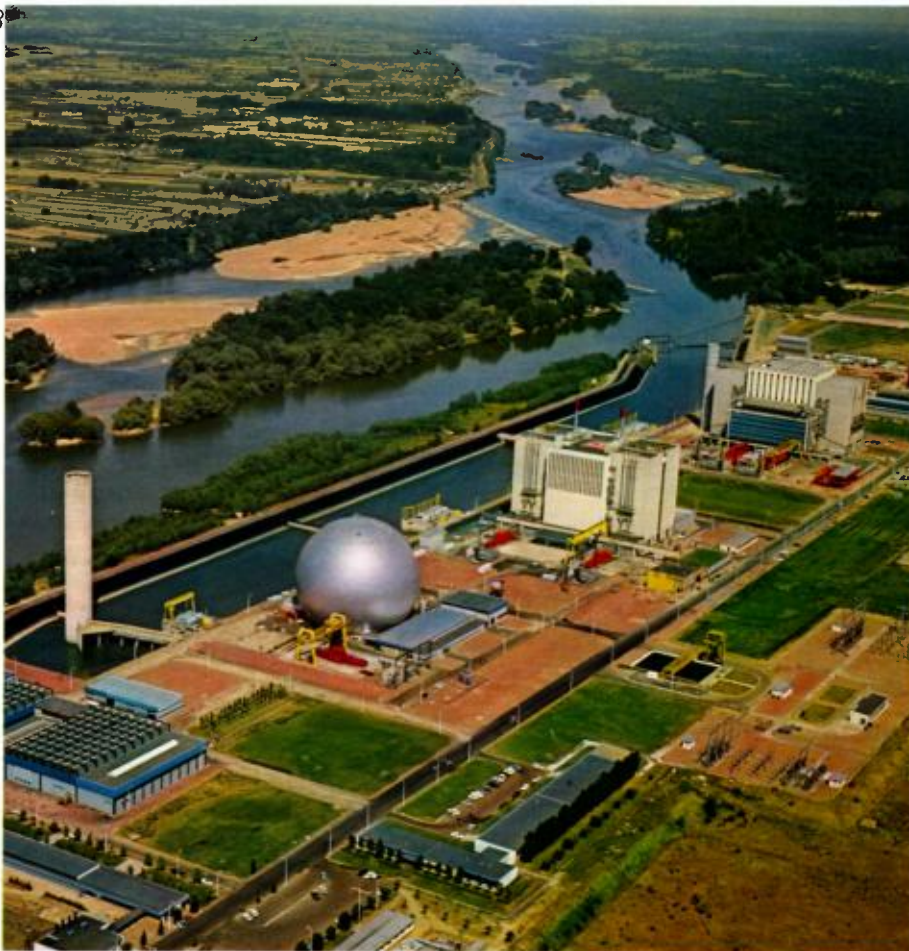
Deux autres tranches ont ensuite été réalisées, également sur la Loire, à St-Laurent-des-Eaux :

- Saint-Laurent 1 de 480 MW, mise en service en mars 1969;

- Saint-Laurent 2 de 515 MW, mise en service en août 1971.

EDF a également participé pour 25 % à la réalisation en Catalogne (Espagne) de la centrale nucléaire de Vandellós (480 MW), de même

3



* 1 MW – 1 mégawatt – 1000 kW.

1. La centrale de Fessenheim. Les deux tranches de 890 mégawatts entreront en service en 1976.
2. La centrale franco-belge de Tihange, construite en Belgique sur la Meuse, puissance 870 mégawatts, est entrée en service en 1975.
3. Le caisson qui contiendra le réacteur de la centrale "Bugey 2" en cours de construction.



conception que les tranches de Saint-Laurent 2 dont la mise en service a eu lieu en mai 1972. Enfin une tranche de 540 MW, Bugey 1, de conception analogue à celle de Saint-Laurent, sauf pour la forme des éléments combustibles, est entrée en service en avril 1972. Malgré les économies réalisées dans la construction de ces centrales grâce notamment à l'utilisation d'ensembles préfabriqués, il est apparu que les tranches de ce type seraient toujours plus onéreuses à construire que celles utilisant l'uranium enrichi.

Les centrales à uranium enrichi - eau ordinaire

EDF avait acquis une expérience dans cette filière en participant pour 50 % à la centrale de Chooz dans les Ardennes. Cette centrale franco-belge à uranium enrichi et eau ordinaire sous pression (type PWR) de 280 MW a été mise en service en avril 1967.

Quand la France eut acquis la certitude qu'elle était capable d'enrichir l'uranium, qu'elle pouvait bénéficier à l'étranger de plusieurs sources d'enrichissement, que la production d'énergie électrique à partir des centrales à eau ordinaire était devenue compétitive avec l'énergie produite par les centrales classiques, EDF a décidé en 1969, suivant en cela l'exemple de la plupart des grands pays industriels, de construire des centrales de cette filière.

Dès 1970, EDF mettait en chantier à Fessenheim, en Alsace, une première tranche de 890 MW, à eau sous pression dont la mise en service est prévue pour 1976.

Aussi bien la collaboration avec les sociétés d'électricité belges s'est poursuivie avec une participation de 50 % dans la construction d'une autre centrale du même type, de 870 MW, sur le site belge de Tihange. Cette centrale est entrée en service en 1975.





1. Mise en place de la cuve d'un réacteur PWR (Bugey 2).

Pour la période 1971-1975 un programme nucléaire minimal de 8000 MW était primitivement prévu sur lequel 5 tranches étaient en chantier fin 1973.

Ce sont :

Tranches	Puissance MW	Mise en chantier	Mise en service
Bugey 2	925	1971	1977
Fessenheim 2	890	1971	1976
Bugey 3	925	1972	1977
Bugey 4 et 5	2 x 905	1973	1978

Mais dès le mois d'avril 1973, la Commission consultative pour la production d'énergie d'origine nucléaire (PEON) avait recommandé au Gouvernement une accélération de ce programme. Cette accélération a encore été stimulée par la crise pétrolière et en mai 1975, le développement du programme nucléaire français se présente de la façon suivante :

1. Pour 1974 et 1975 : 13 tranches de la classe 900 à 1000 MW soit au total environ 12 000 MW sont engagées ou décidées ;

2. Pour 1976 et 1977 : 12 000 MW sont prévus, avec l'apparition de tranches de la classe 1300 MW PWR ;

3. Pour les années 1978 à 1980 : les mises en chantier pourraient se poursuivre, au rythme maximal de 6000 MW chaque année, en fonction de l'évolution des coûts de production et du développement des consommations.



Comment fonctionne une centrale nucléaire

Au sein du réacteur le combustible : uranium 235, ou mélange uranium - plutonium dans les surrégénérateurs*, est le siège de réactions en chaîne qui provoquent un grand dégagement de chaleur. Cette chaleur est continuellement évacuée hors du réacteur vers un échangeur de chaleur grâce à un fluide, dit caloporteur, qui peut être selon les cas du CO_2 , de l'eau ordinaire ou du sodium fondu**.

L'échangeur transfère la chaleur qui lui vient du réacteur à un circuit eau-vapeur. La température de l'eau injectée sous pression s'élève quand elle pénètre dans l'échangeur où elle se vaporise. Au contraire dans le condenseur, à l'autre extrémité du circuit, la température et la pression sont maintenues très faibles en raison du refroidissement constant assuré par l'eau d'un fleuve, de la mer ou provenant d'une tour de réfrigération.

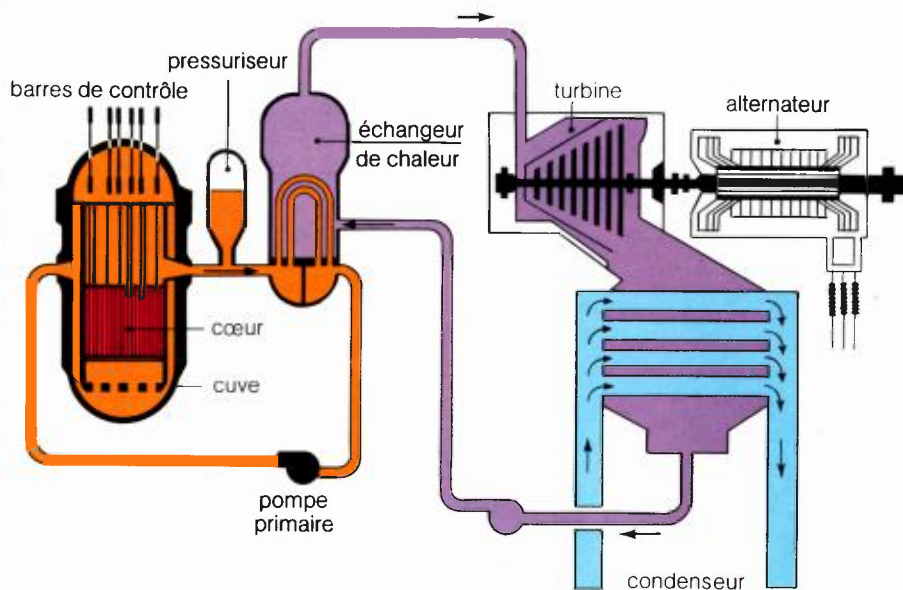
La vapeur produite sous une forte pression dans l'échangeur se précipite avec violence vers le condenseur en faisant tourner la turbine placée sur son passage. Cette turbine entraîne un alternateur qui produit l'électricité.

Une centrale nucléaire est donc une centrale thermique ordinaire dont la chaudière est un réacteur nucléaire.

1. Ce schéma correspond aux grandes centrales PWR en construction telles que Tihange, Bugey 2 et 3, Fessenheim 1 et 2.

Le cœur est la partie du réacteur qui contient le combustible où se développent des réactions en chaîne, sources de chaleur. Les barres de contrôle permettent de régler la chaleur produite dans le cœur et d'assurer sa sécurité. Le pressuriseur régularise la pression de l'eau qui circule entre le cœur et les échangeurs.

Schéma de principe d'une centrale nucléaire avec réacteur à uranium enrichi et eau sous pression. (PWR)



* Voir page 12.

** Cependant certaines centrales (à eau bouillante) ne comportent pas d'échangeurs : c'est la vapeur produite dans le réacteur qui passe dans la turbine.

1. L'un des trois générateurs de vapeur (encore appelés échangeurs) qui équipent un réacteur PWR 900 mégawatts. L'eau sous pression qui vient du réacteur entre et sort par les deux grands orifices réservés au circuit primaire.

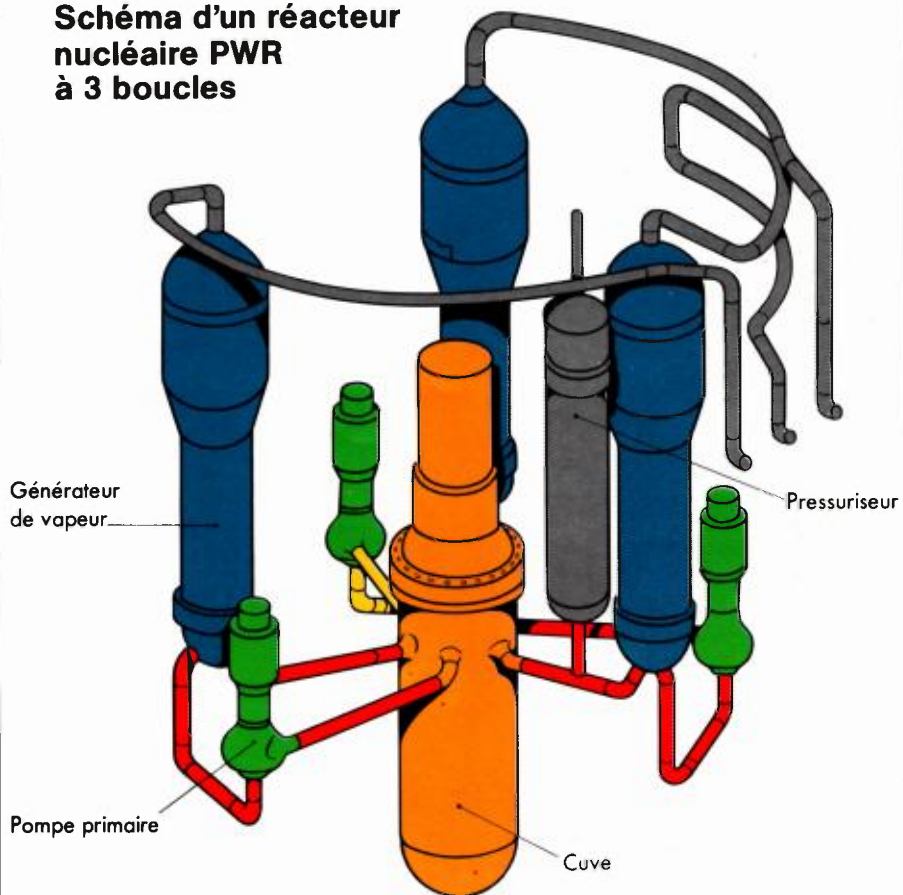
2. Le faisceau des tubes du générateur de vapeur se retourne pour renvoyer vers le réacteur l'eau sous pression qui se refroidit progressivement à mesure qu'elle vaporise l'eau du circuit de la turbine qui circule à l'extérieur des tubes.

3. Les tubes se raccordent à la base de l'échangeur sur une plaque tubulaire.

(Photos Framatome)



Schéma d'un réacteur nucléaire PWR à 3 boucles



Aspects économiques

1. Le bioxyde d'uranium enrichi est une poudre dont, par frittage, on obtient des "pastilles" qui seront empilées dans les gaines des réacteurs.
(Photo P.U.K.)

Les prix de revient

Estimation au 1^{er} janvier 1975

● Prix de revient du kWh

La comparaison porte sur deux centrales entrant en service en 1980 et fonctionnant à pleine puissance durant 20 ans, les 3/4 de l'année :
– l'une thermique classique consommant du fuel-oil et comportant deux groupes de 700 mégawatts ;
– l'autre nucléaire comportant deux groupes de 925 mégawatts, type PWR.

Coûts (en centimes 1975)	kWh thermique classique	kWh nucléaire
Investissements	1,83 (17 %)	3,15 (52 %)
Exploitation	1,11 (10 %)	1,18 (20 %)
Combustible	7,90 (73 %)	1,67 (28 %)
	10,84 (100 %)	6,00 (100 %)

Si le fuel-oil devait être désulfuré, le prix du kWh thermique classique approcherait 12 centimes.

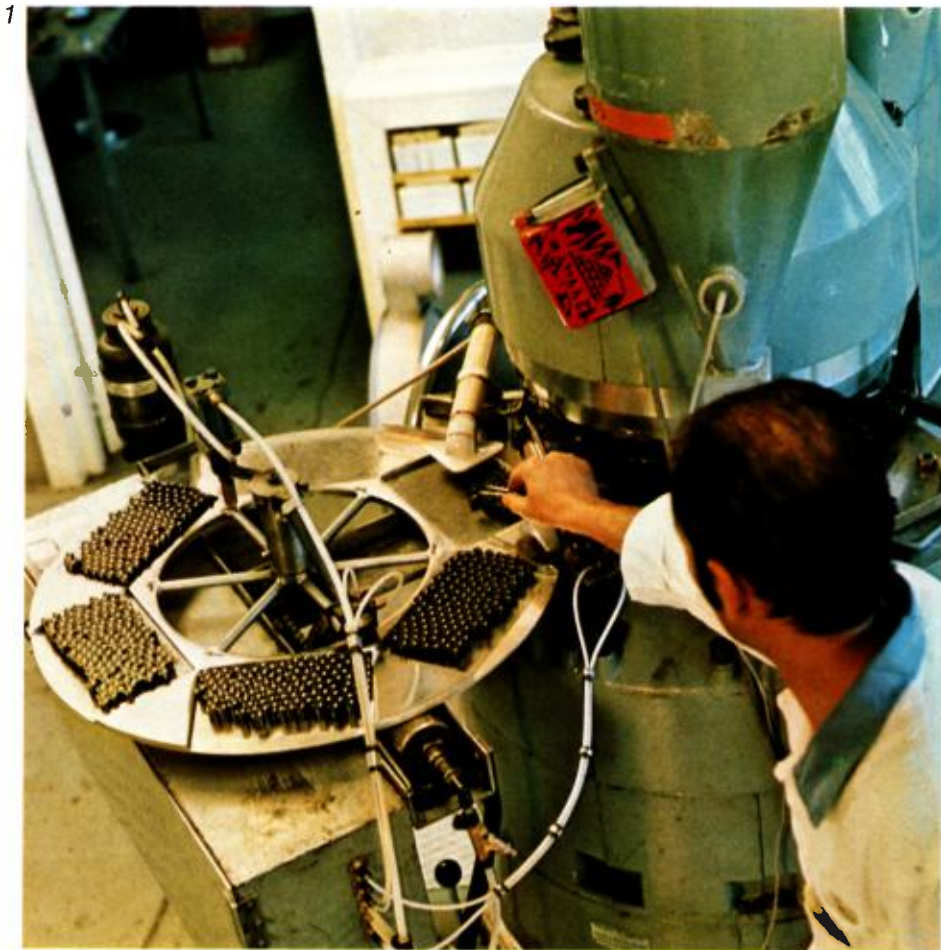
● Prix de revient des centrales par mégawatt installé (coût d'investissement) :

- Thermique classique : 990 000 F
- Nucléaire : 1 710 000 F

● Prix de revient du combustible nucléaire (uranium enrichi).

Le prix total, 1,67 centime par kWh résulte des opérations suivantes :

Extraction et conversion	0,89 c	(53 %)
Enrichissement	0,74 c	(42 %)
Fabrication	0,33 c	(20 %)
Transport, retraitement stockage	0,15 c	(11 %)
Combustible récupéré	– 0,44 c	(– 26 %)
Total	1,67 c	(100 %)



- 1. Centrale de Fessenheim - Introduction du rotor de l'alternateur dans le stator. (Photo Alsthom)
- 2. Un élément combustible du réacteur de la centrale de Tihange. Il comporte 204 gaines d'un diamètre de 1 cm environ, longues de 3,80 m, chargées de "pastilles" d'uranium enrichi. Le cœur du réacteur est constitué par la juxtaposition de 157 éléments semblables. (Photo CERCA)
- 3. La turbine d'une tranche de la centrale de Fessenheim en cours de montage. Vitesse de rotation 1500 tours par minute. (Photo Alsthom)

La part de l'énergie nucléaire

1. dans la production française d'électricité :

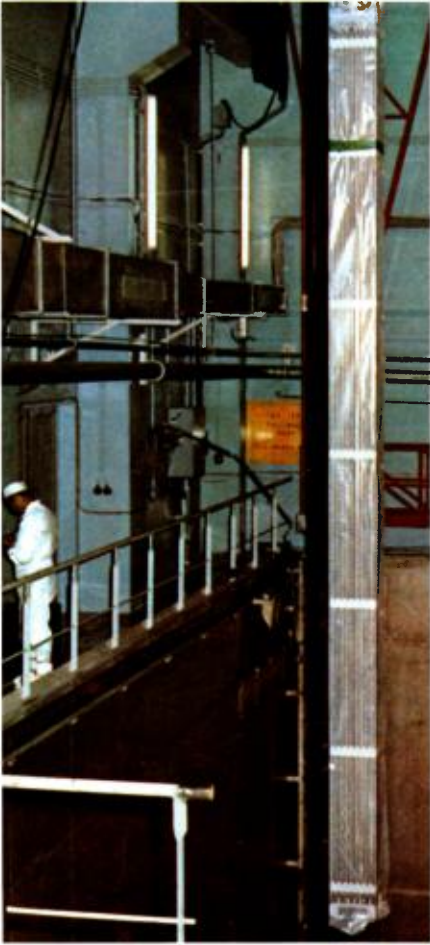
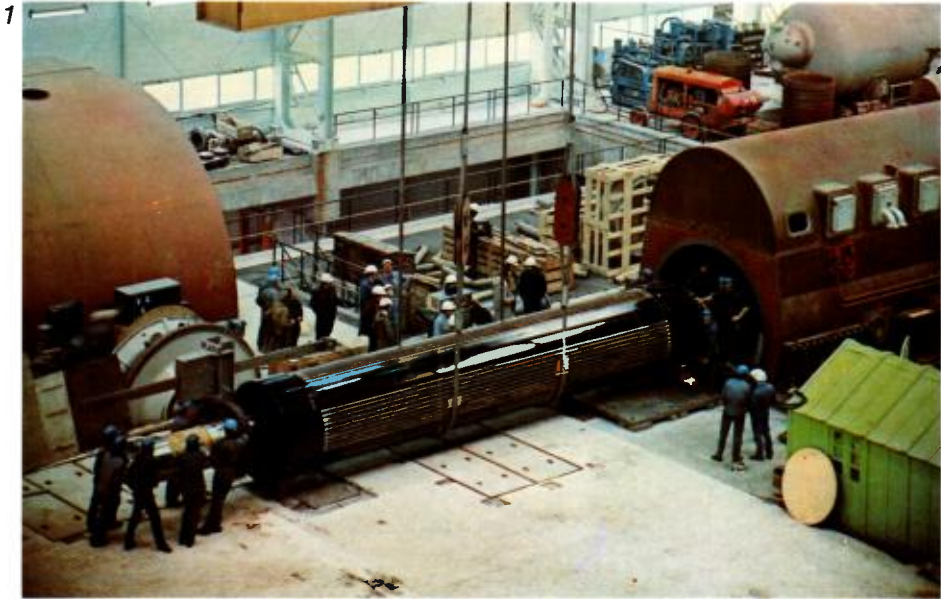
	TWh	%
1970	5,1	3,6
1980	78	28
1985	270	70
2000	825	88

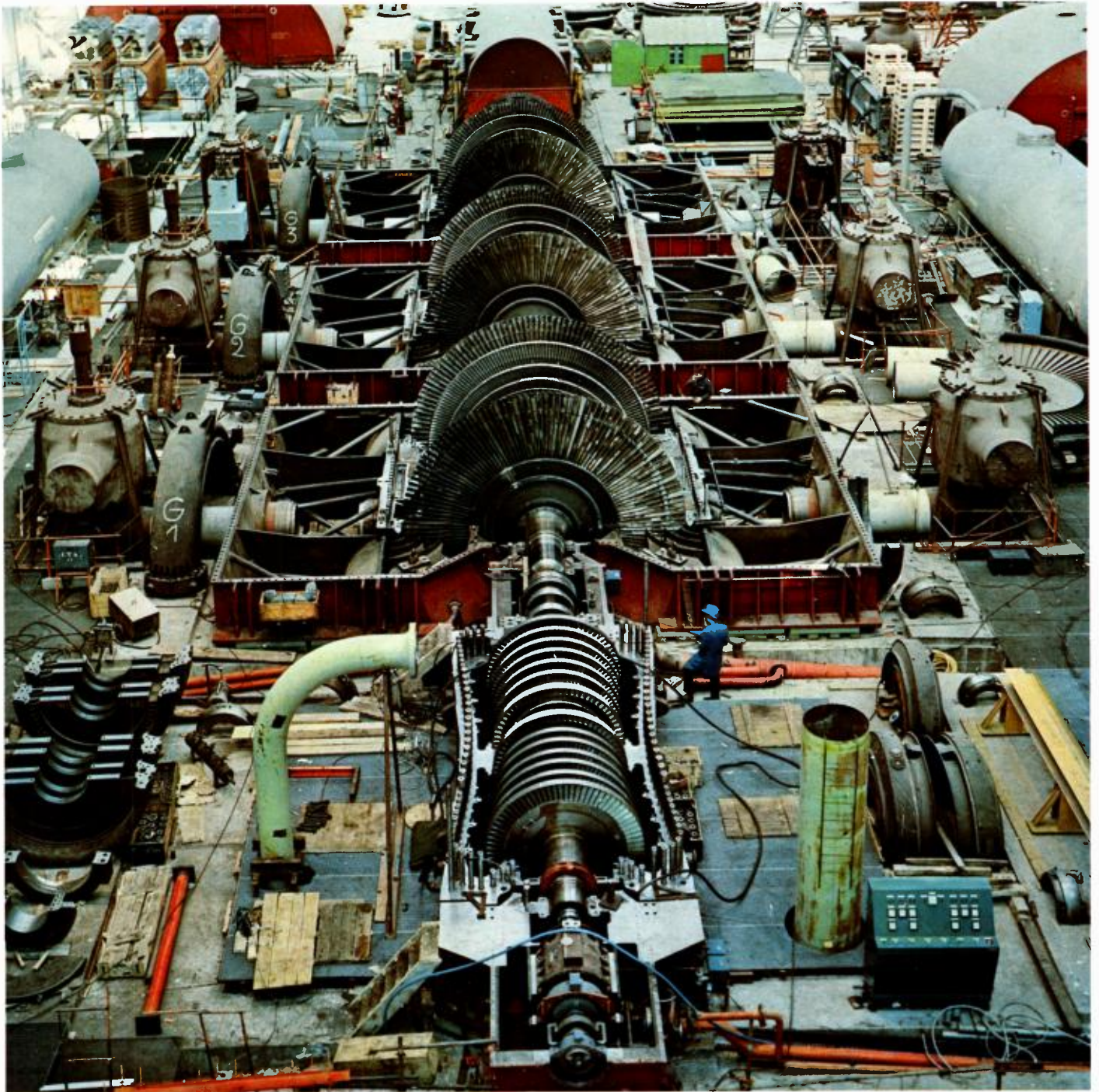
TWh : térawattheure = milliard de kWh

2. dans la consommation totale d'énergie en France :

	Electricité nucléaire (Mtec)	Energie totale consommée (Mtec)	%
1970	1,7	223	0,8
1980	26	308	8,5
1985	90	360	25
2000	275	600	46

Mtec : millions de tonnes d'équivalent charbon





L'avenir du programme nucléaire français

La centrale "Phénix"

1. Phénix, première centrale à neutrons rapides construite en France, entrée en service fin 1973. Puissance nette : 250 mégawatts
2. Le montage du cœur du réacteur.
3. Vue générale de l'intérieur du hall du bâtiment du réacteur. On aperçoit notamment les trois têtes de pompes à sodium primaires
4. L'une des trois pompes à sodium primaires avant sa mise en place.

Mises en service des centrales nucléaires

Puissances en mégawatts

filière gaz-graphite

filière eau lourde

filière eau ordinaire

filière rapide

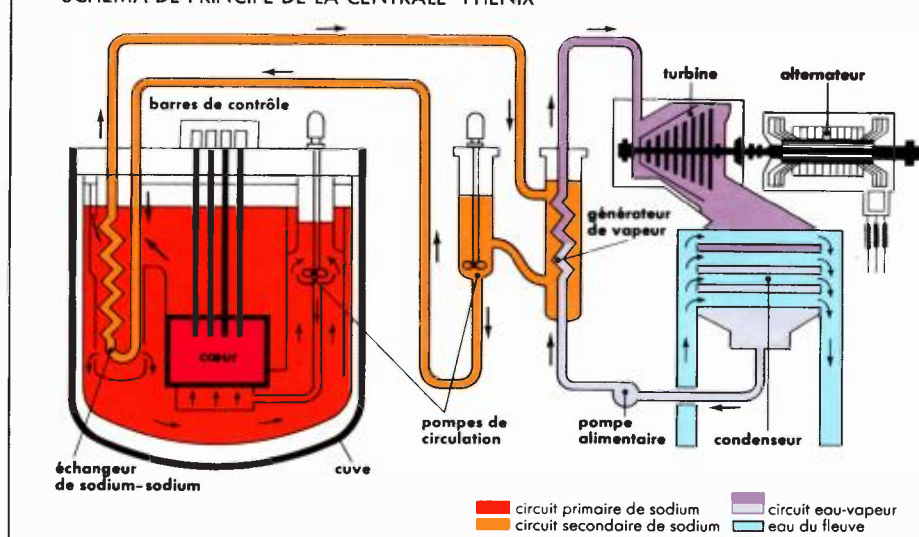
Tranche en service ou en construction

Prévisions globales

Les réacteurs surrégénérateurs

En prévision d'un avenir plus lointain, EDF participe aux recherches du CEA dans le domaine des réacteurs dits "surrégénérateurs". Ceux-ci transforment en plutonium qui est un combustible nucléaire, l'uranium 238 inutilisable en tant que tel. Ils créent ainsi plus de combustible qu'ils n'en utilisent et multiplient par environ 70 l'énergie pouvant être extraite d'une quantité donnée d'uranium naturel. Un premier réacteur expérimental "Rapsodie" fonctionne depuis 1967 de façon très satisfaisante et sa puissance a été doublée en 1970, il est suivi par une centrale prototype de 250 MW, "Phénix", qui est entrée en service en 1973 à Marcoule. Une unité de grande puissance (1200 MW) pourrait être engagée en 1975 et se situerait sur le Rhône, en amont de Bugey, à Creys. L'étude de cette installation se fait dans un cadre international et sa construction sera effectuée en commun avec la RFA et l'Italie. Une autre centrale de puissance analogue serait construite en Allemagne, quelque temps après, par les mêmes partenaires. Enfin EDF envisage la mise en service vers 1984-1985 de deux tranches d'une puissance de 1200 à 1800 MW.

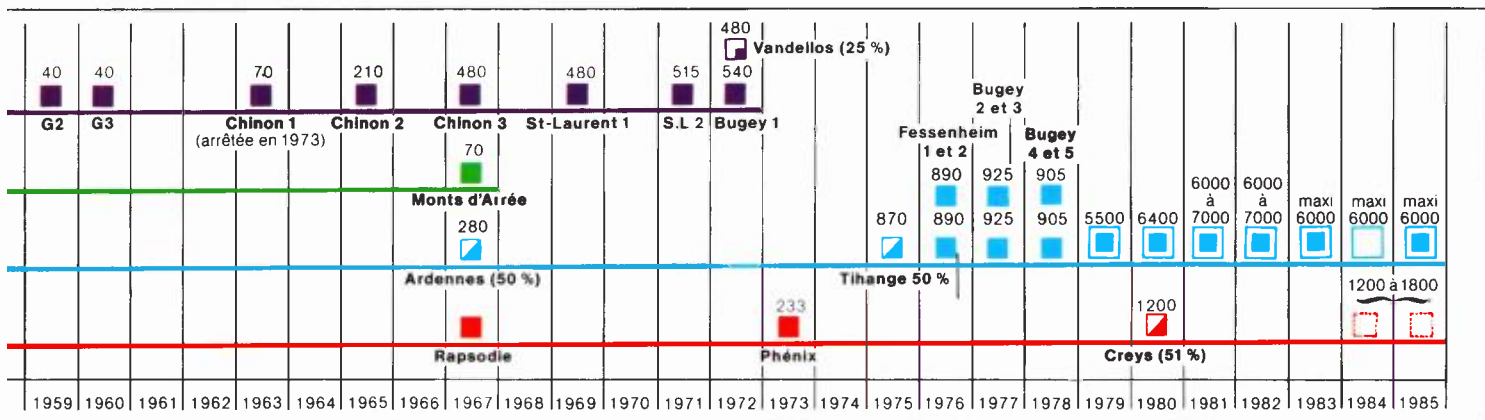
SCHEMA DE PRINCIPE DE LA CENTRALE "PHÉNIX"



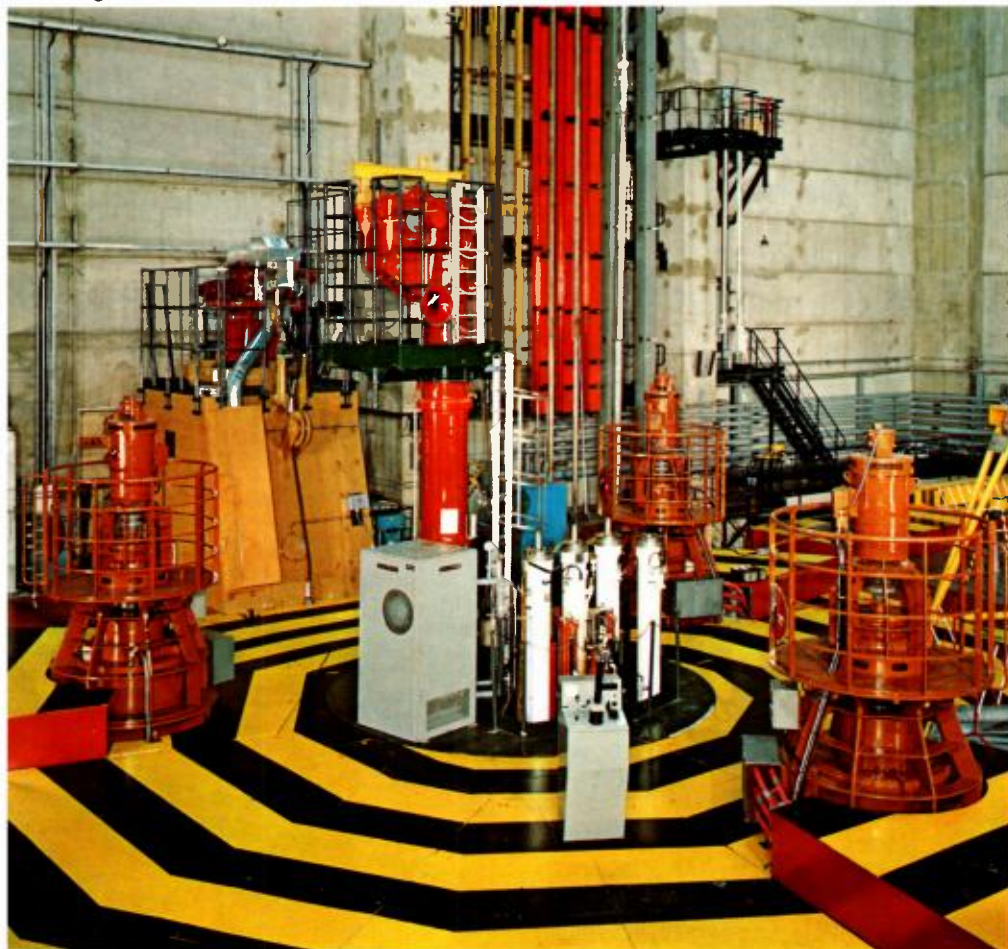
Conclusion

L'énergie nucléaire est actuellement la seule capable de garantir à notre pays son indépendance énergétique. Déjà compétitive dans de grandes unités avant le relèvement brutal du prix du pétrole, elle produit désormais l'électricité de beaucoup la moins chère. Enfin elle se révèle être le meilleur moyen de réduire efficacement les risques de pollution atmosphérique, tout en assurant le progrès économique et l'amélioration du niveau de vie.





3



4



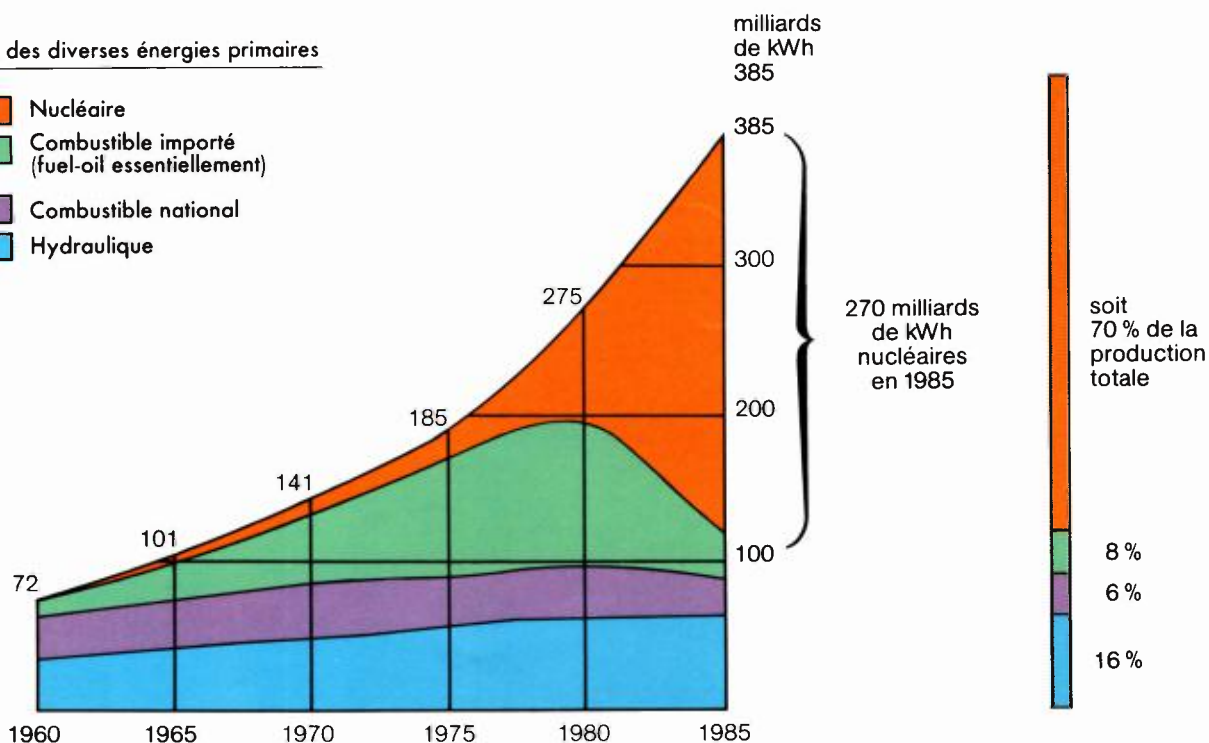
1. Il faut 5 à 6 ans pour construire une centrale nucléaire. C'est pourquoi l'accélération du programme nucléaire décidée en 1974 ne portera ses fruits que vers 1979/1980. On prévoit que la consommation de fuel-oil par EDF connaîtra un maximum de 16 millions de tonnes en 1980 mais qu'elle tombera au-dessous de 5 millions en 1985. Chaque tranche nucléaire de la classe 900 MW permet de produire environ 6 milliards de kWh par an et ainsi d'économiser près de 1,5 millions de tonnes de fuel-oil.

Page IV de couverture. La centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux a produit près de 6 milliards de kWh en 1974.

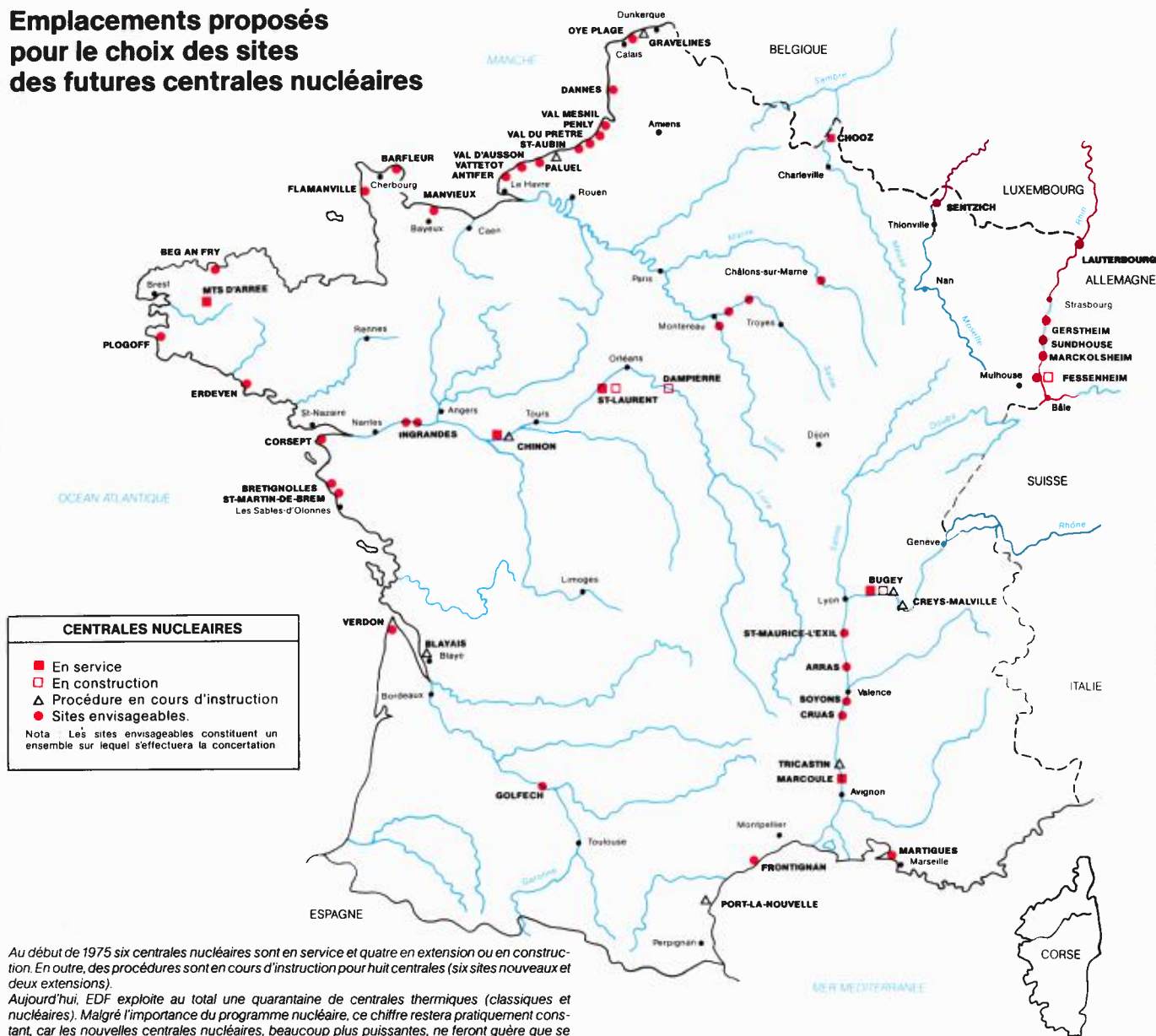
Evolution de la production nationale d'électricité de 1960 à 1985.

Part des diverses énergies primaires

- Nucléaire
- Combustible importé (fuel-oil essentiellement)
- Combustible national
- Hydraulique



Emplacements proposés pour le choix des sites des futures centrales nucléaires



Au début de 1975 six centrales nucléaires sont en service et quatre en extension ou en construction. En outre, des procédures sont en cours d'instruction pour huit centrales (six sites nouveaux et deux extensions).

Aujourd'hui, EDF exploite au total une quarantaine de centrales thermiques (classiques et nucléaires). Malgré l'importance du programme nucléaire, ce chiffre restera pratiquement constant, car les nouvelles centrales nucléaires, beaucoup plus puissantes, ne feront guère que se substituer aux anciennes centrales thermiques qui seront déclassées peu à peu.

Les emplacements des centrales qui seront engagées au cours des dix prochaines années seront choisis parmi une quarantaine de sites envisageables qui figurent sur cette carte ou parmi d'autres sites qui pourraient encore être proposés. Les choix définitifs seront arrêtés par le gouvernement après concertation avec les collectivités locales.

