

1412
SOCIÉTÉ DES ÉLECTRICIENS
DES ÉLECTRONICIENS
ET DES RADIOÉLECTRICIENS
(S.E.E.)

10, av. Pierre Larousse - 92240 MALAKOFF

LCN1
1115

FRANC-CONF--140
FR7602034

Congrès national de la S.E.E.: évolution du problème de
l'énergie dans le monde. Conséquences sur la production
et l'utilisation d'énergie électrique.
Biarritz, France, 30 septembre-4 octobre 1975

5

**LES PROBLEMES INDUSTRIELS
POSES PAR LA CONSTRUCTION
DU NOUVEAU PARC NUCLEAIRE**

par MM. P. GANGLOFF (Société ALSTHOM)
et J. HILLAIRET (E.D.F.)

LES PROBLEMES INDUSTRIELS POSES
PAR LA CONSTRUCTION DU NOUVEAU
PARC NUCLEAIRE

par MM.

P. GANGLOFF

*Directeur Industriel de la
Division du Gros Matériel Electrique et Mécanique
(Stré Athons)*

et **J. HILLAIRET**

*Attaché au Directeur de la Région
d'Équipement Marseille (E.D.F.)*

RESUME

La décision prise par la France de construire en 10 ans un parc de centrales nucléaires d'une importance inégalée en Europe et dans le Monde place l'industrie concernée par cette entreprise gigantesque devant des problèmes de croissance et d'adaptation considérables.

Dans une première partie, l'analyse générale des besoins fait apparaître l'ampleur du phénomène qui se pose à l'industrie face à ses capacités de production. Cette étude originale, première synthèse de ce genre, pourrait être la phase d'origine d'une planification industrielle au niveau de la nation.

La seconde partie, particulière aux Groupes turbo-alternateurs, situe la dimension des matériels, et l'évolution des équipements. Elle évoque la manière dont a été approché le problème industriel pour répondre au besoin de croissance de l'une des plus importantes usines françaises de construction électro-mécanique.

THE INDUSTRIAL PROBLEMS RAISED BY THE BUILDING
OF THE NEW NUCLEAR POWER PLANT SYSTEM

by

P. GANGLOFF
Société ALSTHOM

and J. HILLAIRET
(EDF)

ABSTRACT

The decision made by France to build within 10 years a number of nuclear power plants of an importance unequalled in Europe and in the world has created for the industry involved in this gigantic enterprise problems of growth and adaptation of considerable magnitude.

In a first part, the general analysis of needs reveals the breadth of the phenomenon the industry is facing with respect to its capacity of production. This original study, the first synthesis of this kind, could be the starting point of overall industrial planning at the national level.

The second part, dealing more particularly with turbogenerator units, shows in its true perspective the magnitude of the material and how the equipment has developed. It recalls how the industrial problem has been approached in order to meet the need for expansion of one of the most important French electromechanical manufacturing plants.

**DIE VON DER ERSTELLUNG NEUER KERNKRAFTWERKE
GESTELLTEN INDUSTRIELLEN PROBLEME**

von

P. GANGLOFF
(Gesellschaft Alsthom)

und J. HILLAIRET
(EDF)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entscheidung Frankreichs, in 10 Jahren eine Anzahl an Kernkraftwerken zu errichten, die in Europa und der Welt nicht ihresgleichen hat, stellt die betroffene Industrie durch dieses gigantische Unternehmen vor beträchtliche Wachstums- und Anpassungsprobleme.

In einem ersten Teil der allgemeinen Analyse der Bedürfnisse erscheint der Umfang des Phänomens, das sich der Industrie gegenüber ihren Produktionskapazitäten stellt. Diese neue Studie, eine erste Synthese dieser Art, könnte die Ausgangsphase zu einer industriellen Planung auf der Ebene der Nation sein.

Der zweite Teil, der insbesondere den Turbinensätzen gewidmet ist, befasst sich mit den Ausmassen der Maschinen und der Entwicklung der Ausrüstungen. Er beschreibt, in welcher Weise das industrielle Problem angepackt worden ist, um dem Wachstumsbedarf eines der bedeutendsten französischen Hersteller von elektro-mechanischen Konstruktionen gerecht zu werden.

LOS PROBLEMAS INDUSTRIALES PLANTEADOS POR LA CONSTRUCCION
DEL NUEVO PARQUE NUCLEAR

por

P. GANGLOFF
(Sociedad Alsthom)

y J. HILLAIRET
(EDF)

RESUMEN

La decisión tomada por Francia, consistente en construir en 10 años un parque compuesto por centrales nucleares de importancia sin equivalente en Europa y en el mundo, sitúa a la industria interesada por esta gigantesca empresa ante problemas de crecimiento y de adaptación de considerable cuantía.

En la primera parte, el análisis general de las necesidades permite apreciar la amplitud del fenómeno que se plantea a la industria frente a sus capacidades de producción. Este estudio original, primera síntesis de este género, podría constituir la fase inicial de una planificación industrial al nivel de la nación.

La segunda parte, consagrada en particular a los Grupos Turboalternadores, sitúa la dimensión de los equipos y su evolución. Se evoca así la problemática industrial para responder a la necesidad de crecimiento de una de las fábricas francesas más importantes en el ámbito de la construcción electromecánica.

LES PROBLEMES INDUSTRIELS POSES PAR LA CONSTRUCTION DU NOUVEAU PARC NUCLEAIRE

PREMIERE PARTIE

1 - L'EFFORT INDUSTRIEL

La pénurie d'énergie traditionnelle s'est révélée à la fin de 1973. Deux processus ont été engagés : la réduction de l'électricité d'origine fossile ; le remplacement progressif des autres sources d'énergie par l'électricité «nucléaire».

La FRANCE a pris des orientations décisives en Mars 1974. Un programme massif de construction de centrales nucléaires a été engagé.

L'effort d'investissement ne sera pas une surcharge pour notre économie en valeur relative. En 1960, la part des investissements de production était de 5 %. Pour l'année 1978, particulièrement lourde, elle restera inférieure à 4 %. L'essor industriel est cependant mieux mesuré par la progression annuelle des sommes engagées. En milliards de francs de Janvier 1974, elle s'établit comme suit :

- 2 en 1973
- 2,8 en 1974
- 3,8 en 1975
- 5,2 en 1976
- 6,6 en 1977
- 8 en 1978

soit un quadruplement en cinq ans.

L'industrie française sera-t-elle capable de supporter ce taux de croissance en matières, produits, matériels et prestations ?

A priori, il s'agit d'un défi qui semble avoir été relevé par tous les secteurs industriels. Il faut cependant le planifier pour éviter les goulots d'étranglement.

2 - LES DIFFICULTES

L'augmentation des capacités de production risque d'être perturbée par des difficultés qui sont la conséquence du virage nucléaire.

La pénurie dans certains secteurs industriels traditionnels cotoiera la tension des secteurs nucléaires en expansion. Des reconversions des premiers vers les seconds seront nécessaires sans plus attendre.

En outre, les moyens de production sont souvent inadaptés à la taille des centrales nucléaires. Les budgets d'équipement neuf grèveront alors la trésorerie des Entreprises si elles veulent se mettre à la dimension optimale.

La sûreté nucléaire tolère mal la défaillance habituelle des installations productrices d'énergie. La réduction du personnel pour mettre en place un sévère contrôle de qualité s'accompagnera d'une réorganisation des méthodes et des moyens toujours difficile dans de nombreuses Sociétés.

Et sans parler de la mise en service d'usines nouvelles purement nucléaires, l'industrie pourra-t-elle supporter les charges et résoudre les problèmes sans casser les cadences de production nécessaires pour assurer le succès du programme ?

3 - L'OCCASION D'EXPORTER

Les réponses à ces préoccupations sont d'autant plus justifiées que le processus d'accélération du nucléaire se propage au niveau européen et à l'échelle mondiale. Un coup de fouet est donné à l'industrie française qui lui sera salutaire pour entrer en compétition sur le marché international. Elle a dans son jeu des cartes maîtresses. L'occasion ne saurait être manquée pour exporter. Toutefois, il faut savoir ce que représente le parc E.D.F. pour dégager la part exportable à des coûts marginaux.

4 - LES INCERTITUDES DU PROGRAMME

Le parc de la prochaine décennie sera malheureusement soumis à des fluctuations autres que politiques. La décision de construire une centrale est prise, au plus tard, cinq ans avant la mise en service. La situation du système « production-consommation » n'est pas connue avec une telle avance. La réalisation d'un programme se fait alors sous condition que la réalité confirme les hypothèses de son élaboration. Aussi, il est sage de choisir un modèle enveloppe et de rechercher ensuite l'influence des variations.

Mais la connaissance du programme n'est pas suffisante pour l'industriel qui doit prévoir ses investissements deux ou trois ans avant la confirmation de la mise au programme. La prudence est évidemment de rigueur. Les quantités et les dimensions des matériels commandés dépendront de plusieurs facteurs qu'il faut apprécier en mesurant ses risques ; le nombre de centrales des deux filières concurrentes à eau pressurisée et bouillante ; la puissance unitaire de chaque tranche : 900 et 1.350 MW ; la qualité du refroidissement, bord de mer ou de rivière, réfrigérants atmosphériques ; les résultats du jeu de la concurrence qui garniront le carnet des uns et évidemment pas celui des autres. Enfin, l'avancement des nouvelles techniques.

Par conséquent, si les problèmes posés par le parc E.D.F. sont prévisibles, au niveau de chaque secteur professionnel avec les réserves habituelles, il est difficile de les appréhender au niveau d'une seule usine prise parmi les autres ; ce qui, pourant, est le but du chef d'Entreprise.

5 - LE MODELE DE REFERENCE

L'étude du marché industriel s'appuie sur un programme qui débouche sur sept tranches 1.350 MW mises en service à partir de 1985.

Depuis Mars 1974, deux autres modèles plus précis ont été élaborés et publiés en Décembre de la même année.

Identiques jusqu'en 1981, ils divergent ensuite, soit sur des puissances unitaires, soit sur le nombre de tranches de chaque filière, soit sur le nombre total de tranches engagées annuellement.

Les graphiques du tableau 2 montrent les différences entre :

- 1 - Modèle-enveloppe
- 2 - Modèle fort
- 3 - Modèle ajusté.

Pour connaître la charge de l'industrie entre 1974 et 1982, c'est-à-dire pour une période approchant une décennie, il faut des modèles allant jusqu'en 1987.

Les variations entre les trois possibilités sont inférieures globalement à 15 %.

	MW. installés	Nombre de tranches	Eau pressurisée	Eau bouillante	Rapides
1	80.000	70	50	18	2
2	78.000	69	47 <i>minim.</i>	19 <i>maxim.</i>	3
3	70.000	63	44 <i>minim.</i>	16 <i>maxim.</i>	3

La répartition probable entre réacteurs à eau pressurisée et bouillante se trouvera dans la fourchette du tableau ci-dessus.

Actuellement, le nombre de tranches annuelles fait l'objet d'études, mais le contexte commercial ne permet pas d'en préciser la nature.

Les charges des usines sont insensibles aux différentes hypothèses pour les cinq ou six années à venir.

6 - LE PROCESSUS INDUSTRIEL

Une centrale nucléaire est composée de 70 à 80 matériels électro-mécaniques de spécificité bien marquée. Par exemple, la cuve, la tuyauterie, la turbine, l'alternateur, le transformateur, le tableau électrique, l'enregistreur...

Le processus de fabrication est identique pour tous et passe d'un secteur industriel à un autre.

1	Matière première	Eponge de zirconium	Lingot d'acier	Cuivre
2	Produit transformé	Lingot de zirconolay	Plaque forgée	Conducteur isolé
3	Composant	Tube	Plaque tubulaire	Induit
4	Matériel	Assemblage combustible	Réchauffeur	Alternateur

La chaîne industrielle est compliquée seulement par les maillons qui appartiennent à plusieurs matériels. Toute surcharge apportée par un matériel au niveau d'une maille a une répercussion sur la chaîne des autres matériels.

Aussi, dans un premier temps, il faut décomposer tous nos besoins en chaque point et en faire l'analyse ; puis, reconstituer la chaîne pour détecter les goulots d'étranglement du processus de fabrication étudié.

7 - LA FORME DES BESOINS

Les besoins ne suivent pas les mêmes lois. Mais, d'une façon générale, il est possible de dégager des courbes, parmi lesquelles chaque matière, produit ou matériel pourra se reconnaître. Nous traitons ici de quelques exemples.

7.1 Matière nouvelle consommable

Le zirconium est le métal qui rentre dans la fabrication des gaines de combustible. Peu utilisé aujourd'hui, il est promis à un brillant avenir. Le combustible est changé une fois l'an, à raison d'un tiers ou d'un quart suivant la filière. La demande augmentera tant que des centrales seront construites. Il en est de même pour toute la chaîne de fabrication des éponges aux gaines. La courbe n° 1 du tableau 3 est parlante en elle-même. Entre 1974 et 1982, il faudra multiplier la production par huit.

Les filtres des effluents appartiennent aussi à cette famille de courbes.

7.2 Matière classique non consommable

Les aciers ont toujours été utilisés. Devant nos besoins, le tonnage augmentera, mais dans un rapport plus faible, quatre entre 1974 et 1982. La courbe n° 2 du tableau 3 en donne l'allure.

7.3 La robinetterie nucléaire et non nucléaire

Un essor important est promis à la robinetterie nucléaire qui devra multiplier ses cadences par 10 entre 1974 et 1982. Les courbes 3 et 4 du tableau 3 montrent les augmentations annuelles.

7.4 Les matériels en général

Pour la plupart des besoins recensés, il est une forme de courbe qui se rencontre très souvent et que tout industriel doit connaître pour préparer ses plans de développement. Elle fait l'objet du tableau 3.

La demande annuelle augmentera, jusqu'à une année dite critique. La rampe d'accès sera d'autant plus raide que le matériel est lourd, c'est-à-dire long à fabriquer ; pour cette catégorie, le maximum sera atteint vers 1978-1979, d'abord pour les approvisionnements, ensuite pour les fabrications en usine. Une décroissance suivra alors ce point critique pour aller vers un palier constant en 1980-1981.

Pour le matériel léger, à délais courts, la rampe sera moins dure ; l'année critique sera vers 1979-1980 ; la descente en 1981-1982.

Généralement, l'augmentation des besoins entre 1974 et les années critiques sera de l'ordre de 3 à 8. La première valeur est valable pour les matériels classiques qui ne sont pas nécessaires pour toutes les filières ; la seconde est représentative des nouveautés nucléaires, demandées par toutes les filières.

8 - LES MATERIELS ELECTRIQUES

Notre but n'est pas de publier l'ensemble des besoins qui seront fabriqués dans plus de 1.000 usines. Il est nécessaire cependant de donner quelques courbes sur les matériels électriques qui sont regroupés dans le tableau 4. Les turbo-alternateurs faisant l'objet de la deuxième partie de l'exposé ne sont pas évoqués ici.

9 - LES PROBLEMES

Le développement des besoins comme les courbes nous le montrent, demandera une augmentation inhabituelle des capacités de production. Les efforts se concentreront dans une période n'excédant pas quatre ans et se termineront en 1977-1978. Certains secteurs industriels devront même doubler les cadences d'une année sur l'autre.

D'une façon générale, l'analyse du milieu industriel français montre que la production des usines serait suffisante si chaque Constructeur d'un même secteur industriel participait au programme suivant ses moyens propres. La mise en commun de toutes les capacités aurait permis d'absorber les surcharges. Mais le succès du programme est lié à une condition impérative qu'il nous faut absolument respecter : les tranches d'une filière doivent être identiques pour lui donner un effet de série qui nous fera gagner sur les délais et sur les prix aussi bien des études que des matériels ; en outre, l'instruction des procédures des Organismes de Sécurité est trop longue pour être recommencée à chaque nouvelle unité prototype. Cette identité ne peut vraiment être assurée que si les mêmes Constructeurs participent à la construction de la série de Lanches ; ce qui revient à surcharger des usines aux dépens d'autres dangereusement sous-employés durant des années.

Cette situation devient particulièrement difficile pour les secteurs déjà déficitaire, où le respect des engagements demandera des investissements nouveaux alors que les outils existent par ailleurs.

Une autre conséquence est une sous-traitance étrangère trop importante qui compense les déficiences de l'Industrie française, ceci indépendamment des monopoles de fait qui malheureusement sont des points faibles du processus de fabrication. Il serait vain de penser qu'il fût facile de les éviter, alors qu'ils s'appuient sur une haute technicité ou une puissance industrielle de renommée mondiale reconnue depuis de longues années.

10 - LES SOLUTIONS

Il est nécessaire d'engager plusieurs actions dont la principale est d'informer l'Industrie de nos besoins réels. En effet, les Constructeurs, en particulier les sous-traitants en début de chaîne, ignorent ce que représente le programme nucléaire. Si une société peut garantir sa propre fabrication, elle reste sans moyen sur ses approvisionnements qui sont difficilement chiffrables par les fournisseurs eux-mêmes.

Une seconde action est de prévoir et de régulariser les efforts pour coller la fabrication à la demande. Une telle planification industrielle permettra aussi d'exporter massivement à partir de la décroissance de nos besoins en 1978. L'ensemble de ces actions peut être lancé par l'intermédiaire d'Electricité de France qui dispose de toutes les informations sur ce que représentent les centrales nucléaires. Le rôle des Industriels est alors en toute connaissance de cause d'adapter leurs capacités à la demande suffisamment tôt pour ne pas être pris au dépourvu et d'éviter peut être une sous-traitance étrangère, actuellement assez lourde.

DEUXIEME PARTIE

La décision prise par la France de construire en 10 ans un parc de centrales nucléaires d'une ampleur inégalée en Europe et dans le Monde, place les Industries concernées par cette entreprise gigantesque, devant des problèmes de croissance et d'adaptation qui n'est pas sans évoquer ceux que notre Pays a connus au lendemain de la deuxième guerre mondiale. Ils diffèrent cependant par la nouveauté et par la taille des matériels, qui exigent des moyens d'énormes dimensions, ainsi que par des impératifs de qualité, d'autant plus sévères qu'ils concernent la sécurité des hommes et d'autant plus nécessaires, que la fiabilité de ces unités de 1.000.000 kW, 20 fois plus puissantes qu'en 1946 - est une condition économique essentielle.

La mutation était déjà amorcée depuis plusieurs années chez la plupart des constructeurs. La première partie de cet exposé rappellera l'évolution des matériels, de leurs dimensions et de celles des moyens de production.

Dans la seconde partie, seront évoquées les conséquences industrielles de l'engagement du programme EDF en 1974 sur le plan des entreprises en ce qui concerne l'accélération des investissements et l'adaptation des structures. La réflexion s'appuyera sur le cas d'une entreprise électronucléaire de construction de groupes turbo-alternateurs de grande puissance à BELFORT, qui paraît assez représentatif de l'évolution du phénomène, ainsi que des méthodes de pensée et d'action.

1 - EVOLUTION DES DIMENSIONS UNITAIRES DES GROUPES TURBO-ALTERNATEURS

1.1 La turbine - Pourquoi 1.500 tr/mn ?

Si dans une première époque de l'âge électronucléaire, la puissance relativement modérée des réacteurs, et des groupes turbo-générateurs qui leur sont associés, a permis de conserver une structure générale de turbine à vapeur assez classique tournant à 3.000 tr/mn, la puissance considérable produite par les réacteurs à eau légère de la génération actuelle influence directement la dimension et la vitesse des turbines, avec un bond spectaculaire des puissances unitaires qui sont passées de 500 MW à 1.500 tr/mn pour les machines de la centrale franco-belge de Tihange, à près de 1.000 MW à 1.500 tr/mn pour la série actuelle des centrales du parc nucléaire d'E.D.F. et même de 1.200 MW en Europe (figure 1).

La vapeur d'alimentation produite par les réacteurs à eau légère du type pressurisé (PWR) ou à eau bouillante (BWR) a des caractéristiques très différentes de celles de la vapeur produite par les chaudières classiques. Celles-ci dans les installations récentes, délivrent une vapeur à une température de l'ordre de 540 °C sous 160 à 180 bars, voire même 240 bars, alors que les réacteurs nucléaires à eau légère fournissent une vapeur saturée à 250/270 °C sous 50 à 70 bars

Il en découle une conséquence immédiate.

A puissance égale, le débit massique de vapeur à l'échappement Basse Pression de la turbine augmente de 60 %.

Cela oblige, à pression égale au condenseur, à majorer les sections d'échappement dans le même rapport, en multipliant le nombre des échappements ou en allongeant les aubes des derniers étages.

Ces dispositions sont encore réalisables à 3.000 tr/mn pour des puissances de quelques centaines de MW. C'est ainsi que la turbine de CHOOZ, en Belgique (288 MW), tourne encore à 3.000 tr/mn avec 6 échappements. Mais on ne peut pas aller bien au-delà avec les caractéristiques des sources froides habituelles, sinon l'allongement de la ligne d'arbre conduit à des encombrements excessifs, à des salles de machines importantes et pose des problèmes de stabilité mécanique difficiles à résoudre. D'autre part, l'augmentation de la hauteur des aubages à 3.000 tr/mn est très vite limitée par les contraintes centrifuges.

C'est pourquoi, la vitesse de 1.500 tr/mn est adoptée pour la réalisation des machines de grande puissance. Elle permet théoriquement, à contraintes égales, un doublement des dimensions linéaires et un quadruplement des sections offertes au passage de la vapeur.

Une machine de 1.000 MW à 1.500 tr/mn est constituée par une turbine Haute Pression et 3 (ou 2) turbines Basse Pression (figure 2). (Cette figure, ainsi que les suivantes, ne sont pas jointes au texte. Elles seront projetées sur écran lors du congrès).

La partie fixe de la turbine HP (ou corps) est en 2 demi-parties en acier moulé. Chacune d'elles, ainsi que le rotor en acier forgé, conservent encore des valeurs habituelles pour les poids unitaires : 50 à 60 t.

Les rotors BP constituent par contre les pièces unitaires les plus lourdes de la turbine. Dépassant, surtout par leur diamètre, les possibilités actuelles de coulée et de forgeage des aciéristes, ils sont d'une réalisation composite qui peut revêtir l'une des formes suivantes :

- soit celle d'un assemblage mécanique consistant à fretter des disques sur un arbre (figure 3),
- soit celle d'un procédé métallurgique réunissant par soudure des tranches successives de rotor.

Les qualités respectives des deux techniques ont, l'une et l'autre fait leurs preuves à travers le monde.

Mais quel que soit le procédé utilisé, il en résulte des pièces qui aujourd'hui pèsent de 160 à 200 t. Et déjà, on discerne pour les groupes de 1.350 MW des mobiles de 220 à 250 t et de plus de 300 t pour des puissances de 2.000 MW.

1.2 L'alternateur et les conséquences du 1.500 tr/mn

La vitesse de 1.500 tr/mn qu'impose la turbine entraîne pour les alternateurs une conception de machines à 4 pôles pour lesquelles les problèmes sont fortement modifiés.

La réduction sensible des efforts dynamiques, principales contraintes du dimensionnement électromagnétique, permettrait théoriquement, en passant de 3.000 à 1.500 tr/mn, de presque doubler le diamètre des rotors. Mais d'une part, des considérations de transport du stator, obligent à en limiter les dimensions et à ne pas dépasser une augmentation de 60 à 70 % des diamètres. D'autre part, les problèmes liés à l'obtention des grosses pièces de forge pour les rotors monoblocs, solution préférée pour sa simplicité par la plupart des constructeurs, limitent leurs poids à 180 t. Cette valeur est en effet proche des limites actuelles de réalisation aux Etats-Unis et au Japon, seuls capables aujourd'hui de couler et de forger des lingots nécessaires de 400 à 500 t.

Les constructeurs électromécaniciens ont affaire à une pièce d'un poids unitaire de l'ordre de 200 t - voire 300 t pour des puissances de 2.000 MVA - avec des diamètres approchant 2 m et la longueur 20 m... alors que pour des machines à 3.000, 3.600 tr/mn, le poids d'un rotor de 900 MW n'est que de 75 t...

Le stator de l'alternateur reste l'élément le plus lourd des groupes turbo-générateurs pour lequel se sont posés très tôt les préoccupations de manutention et de transport. C'est grâce à l'amélioration des procédés de ventilation et de refroidissement que la croissance des dimensions a pu être modérée, ainsi que par les progrès dans la technologie des isolants (figure 4).

Des simplifications constructives dans le cas des machines tétrapolaires à 1.500 tr/mn permettent, de plus, de conserver pour un alternateur de 1.000 MW à 1.500 tr/mn, sensiblement le même poids que celui d'une machine à 3.000 tr/mn, c'est-à-dire compris entre 320 et 350 tonnes.

C'est le composant le plus important, le plus lourd des groupes électronucléaires et, à ce titre le facteur déterminant dans le choix de la dimension et des structures des bâtiments d'atelier qui deviennent de véritables cathédrales d'acier équipés de moyens de levage de l'ordre de 400 t de capacité unitaire (figure 5).

1.3 L'évolution des moyens de production

L'accroissement des puissances unitaires avait déjà marqué dans le passé les paliers successifs des centrales classiques de 125 MW, 250 MW, 600 MW. Ce qui différencie le nucléaire, c'est d'abord l'apparition de matériels nouveaux notamment les chaudières nucléaires dont les cuves malgré quelques points communs avec les réservoirs des chaudières classiques, ont en plus la dimension, le poids et les «conditions nucléaires».

C'est ensuite la rapidité avec laquelle le palier de 600 MW à 1.000 MW a été franchi avec le choix, pour les groupes turbo-alternateurs, de la vitesse de 1.500 tr/mn et ses conséquences : poids et dimensions des composants principaux :

- 160 t pour chacun des rotors Basse Pression,
- 180 t pour le rotor d'alternateur,
- 320 t pour le stator d'alternateur.

Les constructeurs avaient déjà intégré cette perspective dans leurs plans de développement, et les moyens nouveaux étaient progressivement mis en place en même temps que la dimension des bâtiments était adaptée aux besoins.

Ainsi à BELFORT, ALSTHOM décidait entre autres :

- en 1969, l'achat d'une nouvelle fraiseuse à hautes performances pour le rainurage des rotors d'alternateurs. Cette machine, opérationnelle depuis 1972, est capable de recevoir des rotors jusqu'à 350 t et de 23 m de long (figure 6) ;
- en 1970, l'acquisition de tours parallèles pour l'usinage des gros rotors d'alternateurs de plus de 20 m de long (figure 7) ;
- en 1971, la construction d'une installation d'équilibrage et de survitesse sous vide pour les mobiles d'un diamètre maximal de 8,5 m (rotors BP turbines) et de 24 m de long (rotors alternateurs), d'un poids de 250 t (puis 350 t par la suite) à la vitesse maximale de 4.500 tr/mn.

Le projet prévu initialement en 3 étapes, compte tenu du coût considérable (plus de 20 millions de francs), a été accéléré dès 1972 pour être prêt, fin 1974.

Il constitue actuellement l'installation de ce type la plus importante d'Europe occidentale (figure 8).

- en 1971, d'amorcer la construction d'un grand hall destiné au montage des grands stators d'alternateurs jusqu'à 2.000 MW - d'où le nom de Hall 2.000 qui lui a été donné, avec ponts roulants de 400 t. Une première phase de 2.000 m² est opérationnelle en Mai 1975 (figure 9).

Le même phénomène était généralement observé chez d'autres constructeurs, les mêmes causes produisant les mêmes effets, car dans ce domaine de la préparation de l'avenir, rien ne peut être improvisé. Le développement et la mise en place des gros moyens impliquent une réflexion prospective permanente.

En effet, le choix et la dimension des équipements, la mise en place des bâtiments avec éventuellement le choix d'implantations nouvelles doivent être réalisés dans le cadre d'une stratégie industrielle à long terme, par étapes progressives, adaptées aux besoins, ni trop en avance, car le coût pèse dans les prix de revient, ni trop tard, car la concurrence n'attend pas.

Il est nécessaire que les décisions prises à un moment donné soient cohérentes avec celles qui seront à prendre 5 ans ou 10 ans plus tard, et même davantage.

Car, une fois les choses en place, le retour en arrière n'est plus possible et l'erreur dans ce domaine pénalise gravement la compétitivité de l'entreprise, quand elle ne la détruit pas.

Liés à la fragilité des hypothèses sur le futur et au coût énorme des investissements, que ce soit en machines-outils ou en atelier de grande capacité, les risques sont considérables.

2 - 1974 - LE PROGRAMME NUCLEAIRE

La soudaineté et l'importance du parc de centrales nucléaires lancé par E.D.F. a balayé les prévisions antérieures les plus optimistes. Alors que dans le passé les commandes étaient «distillées» avec une continuité toute relative, c'est cette fois un gigantesque programme conduisant à des orientations industrielles décisives.

Dans un souci d'efficacité, E.D.F. décide de bloquer sur un même constructeur le même type de matériel favorisant ainsi une fabrication en série seule capable de réduire les aléas et de répondre aux exigences de qualités exceptionnelles de ces grands équipements.

En moins d'un an, 12 tranches PWR sont commandées. Si l'on ajoute les 10 centrales en chantier et en option, c'est un ensemble de 22 unités auxquelles s'ajoute la part pour l'exportation, impérative et inexorable, qui va marquer profondément et d'une manière irrévocable plusieurs entreprises importantes.

A la dimension unitaire qu'accompagne le développement progressif des moyens de production comme on vient de le voir, s'ajoute le nombre de groupes qui conduit à tripler les cadences annuelles en passant de 2 unités par an en 1974 à 6 en 1977. La charge totale en heures de travail de l'Usine de BELFORT, compte tenu des autres activités de base se trouvera à la même époque portée au double de la capacité 1974, avec des distorsions considérables de répartition entre les différents secteurs de fabrication.

Rarement tel phénomène aura été observé, et cela donne la mesure des problèmes à résoudre pour l'entreprise qui doit en peu de temps se renforcer, s'adapter, changer complètement de régime et passer en quelque sorte sur une orbite nouvelle.

2.1 Choix d'une politique industrielle

A Belfort, les idées sur ce que devrait être l'avenir étaient assez précises. Dans une situation géographique privilégiée, au centre de l'Europe, bien reliée par fer et par route, à proximité du Rhin et par là, plus tard au Danube avec l'accès à l'Europe Centrale, l'Usine actuelle qui avait amorcé sa mutation vers le gros matériel, disposait encore d'une marge d'extension appréciable pour permettre l'implantation de bâtiments lourds.

A 15 km de là, des terrains acquis en temps utile sur le passage du futur canal à grand gabarit Mer du Nord - Méditerranée, réservaient le grand avenir.

Un plan de développement défini, des implantations et des structures de bâtiments déjà dessinées étaient des éléments favorables pour répondre à la demande d'EDF, qui conduisait à mettre en œuvre dans des délais courts un renforcement considérable des moyens de production.

2.1.1 Les éléments de décision

Cependant l'incertitude des programmes suivants liée aux fluctuations économiques, voire politiques, l'évolution des puissances unitaires de chaque centrale, et le jeu de la concurrence invitent à la prudence.

Le coût énorme des investissements et de leur financement qui pèse de façon irréversible dans les prix de revient contraint à en modérer le volume et à réduire les marges de sécurité.

L'importance relative de l'entreprise dans la ville ou dans la région impose une limite naturelle à sa croissance. Il n'est pas raisonnable d'augmenter de façon excessive les effectifs d'un établissement de près de 9.000 personnes dans une ville moyenne de moins de 70.000 habitants. De plus, le souci d'assurer autant que possible une certaine stabilité de l'emploi conduit à fixer la capacité de production à un niveau tel qu'il échappe aux variations de la charge en faisant appel à la sous-traitance.

Il convenait donc de faire des choix tout en exploitant cette conjoncture extraordinaire, au moment où s'accélérait le processus nucléaire dans tous les pays, pour doter l'entreprise des moyens propres à lui donner la dimension internationale, condition nécessaire pour la faire participer à la compétition sur le marché mondial.

2.1.2 Les options

Affirmer la vocation de l'Entreprise pour le gros matériel en poursuivant la mise en place des équipements lourds :

- bâtiments
- machines-outils.

Croissance modérée des effectifs moyennant un large programme de sous-traitance ou de décentralisation sur d'autres établissements.

Maintenir une diversification suffisante pour ne pas sacrifier les autres matériels traditionnels de la Société.

Conserver en propre la fabrication des ailettes et des diaphragmes de turbines et des enroulements d'alternateurs qui sont des produits spécifiques très liés au progrès des techniques.

Pour assurer les investissements, l'effort financier nécessaire va s'élever au niveau sans précédent de 100 millions sur chacune des années 1974-75-76, quatre à cinq fois plus élevé, que la moyenne des dernières années.

2.2 L'action

2.2.1 L'augmentation des gros moyens

L'effort principal porte sur la mise en place des moyens lourds, bâtiments et équipements, mais compte tenu des coûts très élevés qui mettent à l'épreuve la capacité de financement de l'entreprise, ceux-ci sont dimensionnés avec une marge faible, et en plusieurs étapes, chaque fois que c'est possible et économiquement raisonnable.

Très rapidement, grâce aux études existantes, de nouvelles tranches de grands bâtiments peuvent être lancées dès le 2ème semestre de 1974, pour être prêtes fin 1975 où près de 10.000 m² d'ateliers nouveaux équipés de ponts roulants de 150 à 400 t seront opérationnels, destinés aux montages des alternateurs et des turbines.

Simultanément plusieurs machines-outils importantes sont commandées. Dans ce domaine, le nombre et la cadence des matériels à produire, modifiaient les façons de penser habituelles. Il devenait, en effet, possible d'envisager des équipements spécifiques, même pour des grosses pièces telles que les corps de turbine (60 t) et les carcasses des stators d'alternateurs (100 t), qui n'auraient pas trouvé leur rentabilité en d'autres temps.

C'est ainsi que deux machines spéciales seront installées en 1976, capables chacune d'usiner ces grandes pièces avec des performances qui réduiront le cycle de fabrication de plus de 70 %. Le gain le plus appréciable étant la suppression des temps d'attente ou temps morts, grâce à l'enchaînement des opérations les unes à la suite des autres, que permet la commande numérique.

La capacité de production de ces machines permet d'absorber la pointe du programme E.D.F., 6 ou 7 groupes dans l'année.

Avec 6 turbines par an, comprenant chacune 3 rotors Basse Pression, c'est près d'une vingtaine de mobiles de 160 t qui seront à réaliser.

Cette répétition conduit à mettre en œuvre le principe de ligne de fabrication qu'il n'est pas commun de rencontrer pour des pièces de cette taille, mais qui permet de bénéficier des avantages de l'effet de série en réduisant les aléas.

En ce qui concerne les rotors d'alternateurs, la capacité d'usinage en place depuis 1972 permet de faire face au programme nucléaire.

2.2.2 Les composants spécifiques

- Les ailettes de turbines

Leur charge de travail conduit à plus que doubler les moyens de production en 1977.

Un nouvel atelier sera réalisé en 1975 et remplacera l'atelier actuel déjà saturé. Pour étaler l'investissement en machines, priorité est donnée aux moyens de fabrication des ailettes les plus grandes. En effet, les plus petites (jusqu'à 700 mm), peuvent être sous-traitées sans difficulté en utilisant le potentiel existant en Europe, (France, Hollande, Allemagne, Pologne...) et sous employé pour ces dimensions.

- Les diaphragmes de turbines (ou directrices)

Les turbines nucléaires comprennent chacune plus de 50 directrices, plus de 300 pièces par an pour le programme, dans des dimensions nouvelles de poids et de volume, près de 6 m de diamètre et 15 t pour le dernier étage contre 2 m et 3 t pour une turbine classique.

Le volume de travail multiplié par 5 ne peut pas être réalisé à BELFORT, ni sous-traité.

Décision est alors prise de créer une nouvelle usine dans la Région des Cèvennes où les Charbonnages de France sollicitaient des créations d'emplois et proposaient des ateliers existants de 5.000 m², qui permettaient un démarrage rapide.

En 1977, cet établissement situé à ST-FLORENT sur AUZONNET près d'ALES emploiera 350 personnes à la fabrication des directrices. Son équipement a été choisi pour s'adapter ultérieurement à d'autres produits.

Les enroulements des alternateurs continueront à être réalisés à BELFORT, moyennant quelques extensions de surfaces notamment pour le stockage.

Les équipements de base nécessaires avaient été mis en place pour les premières machines de Fessenheim et dimensionnés pour les alternateurs jusqu'à 2.500 MW.

2.2.3 La sous-traitance

Son développement est considérable puisqu'elle aura à contrôler une activité équivalente à celle de la production de BELFORT.

Le nombre des partenaires et des fournisseurs est sensiblement élargi en France et à l'étranger (Portugal, Belgique, Hollande), où la participation des Industries nationales peut favoriser ou aider l'exportation.

Pour les groupes nucléaires, la sous-traitance concerne l'ensemble des parties fixes des turbines Basse Pression (corps BP et Boîtes d'échappement), qui sont de volumineux ensembles mécano-soudés, ainsi que les disques et les arbres des rotors Basse Pression, dont l'assemblage et la finition par contre sont entièrement réalisés à BELFORT.

La connaissance du marché et des partenaires a permis rapidement de prendre des options pour l'ensemble du programme, surtout pour les pièces les plus importantes, susceptibles de saturer les moyens de production.

2.2.4 Les approvisionnements

Les achats des matières représentent environ la moitié du prix des matériels.

Les grosses pièces de forge (rotor d'alternateur) et les grosses pièces moulées (corps HP des turbines), ont fait l'objet de réservations immédiates, compte tenu du petit nombre de fournisseurs.

Le Japon et les Etats-Unis sont actuellement les seuls capables de fournir des rotors forgés de 160 t et ont vu depuis plusieurs mois leur carnet de commandes se gonfler sous l'effet du phénomène nucléaire mondial.

La situation pour les grosses pièces en acier moulé est préoccupante. Cette industrie paraît saturée et sans développement. Les commandes passées en temps utile, font l'objet d'une attention vigilante par des contacts fréquents avec les fournisseurs.

3 - L'ADAPTATION DES STRUCTURES

3.1 Le remodelage de l'outil de production

En privilégiant l'augmentation des grands moyens de production pour donner à l'Entreprise sa dimension internationale, tout en maintenant l'évolution de l'emploi dans des proportions limites, il est inévitable de bousculer la structure de production en transférant des activités à l'extérieur par la voie de la sous-traitance.

D'abord, pour faire de la place aux constructions nouvelles au détriment des ateliers anciens, ensuite, en réaffectant des bâtiments à des activités nouvelles.

C'est tout un remodelage de la physionomie de l'Entreprise par des regroupements d'ateliers ou de fonctions, des créations d'unités nouvelles qui bouscule des habitudes figées par le temps ou la tradition.

3.2 L'aménagement des fonctions pour une dynamique nouvelle

Le changement d'échelle exige des investissements considérables, et le coût des nouveaux matériels fabriqués très supérieur à ceux du passé exigent qu'une efficacité nouvelle accompagne cette croissance.

3.2.1 Les méthodes de production et la qualité

Les nouveaux moyens mis en place tels que des grosses machines-outils sophistiquées, exigent un environnement technique, ingénieurs et techniciens de grande qualification. C'est sur eux que reposera la disponibilité de ces équipements. A eux d'analyser et de prévoir les incidents éventuels, car les heures d'arrêt deviennent rapidement d'un coût prohibitif.

L'ensemble de la capacité de production doit être préservé, en réduisant les aléas du travail.

En effet, toutes les difficultés, les incidents en cours de fabrication qui conduisent à faire deux fois la même opération sont en fait des pertes de capacité ou entraînent un surcroît d'investissement.

En ce sens cette préoccupation du constructeur rejoint celle d'E.D.F., soucieuse de son côté de la fiabilité d'une unité de 1.000 MW, pour s'assurer que les précautions sont prises à tous les stades de la réalisation depuis l'élaboration des plans dans les bureaux d'études, jusqu'au montage sur le site de façon à réduire au maximum les risques de difficultés en cours de fabrication, et de défauts en exploitation.

C'est ce qui conduit à mettre en place sous l'impulsion d'E.D.F., une fonction d'assurance de la qualité. Celle-ci peut être définie, comme l'ensemble des mesures systématiques nécessaires pour que chacun sache ce qu'il doit faire à tous les stades de la réalisation, comment il doit le faire, et qu'on puisse s'assurer ensuite que ce qui était prévu, a bien été fait.

Cette action n'aura de valeur que si elle conduit à réduire les aléas, les pertes de temps, les malfaçons qui constituent ce qu'on peut appeler la «non-qualité» sans augmenter le coût de la «qualité».

Mais elle deviendrait paralysante et extrêmement coûteuse, si elle n'était qu'un accroissement excessif des procédures de vérification.

C'est la qualité des services ou des fonctions de toute la chaîne de production, qui fera la qualité du matériel au moindre coût.

3.2.2 Le contrôle de la production

Le contrôle de l'avancement du flux de production justifie le recours à des systèmes évolués qui permettent par des méthodes de simulation, d'améliorer la qualité de la prévision et de prendre à temps des mesures cohérentes pour limiter les conséquences des aléas, provenant aussi bien des pannes d'équipements, d'incidents de réalisation, que de retards d'approvisionnements qu'il serait impossible de maîtriser avec les méthodes du passé.

3.2.3 La gestion

Pendant toute la période de croissance et de changement d'échelle, l'entreprise est plus vulnérable.

Le volume des investissements, les coûts de fabrication des nouveaux matériels, l'augmentation des stocks, mettent en jeu des sommes d'argent considérables.

Alors que les clignotants du contrôle de gestion, ne sont pas encore tous rééquilibrés, la surveillance des comptes doit être plus attentive que jamais.

Ainsi l'entreprise confrontée à un besoin de croissance rapide unique dans son histoire, doit augmenter et remodeler son appareil de production dans des proportions nouvelles, en engageant des moyens financiers considérables.

Mais, son succès, qui assurera son avenir, est lié à la réadaptation de ses structures, et des méthodes de penser, à la qualité de sa technique et à sa capacité d'animer les hommes qui l'habitent pour les mettre en situation d'agir avec efficacité et enthousiasme.

EVOLUTION DE LA PUISSANCE UNITAIRE DES TURBINES NUCLEAIRES EN EUROPE

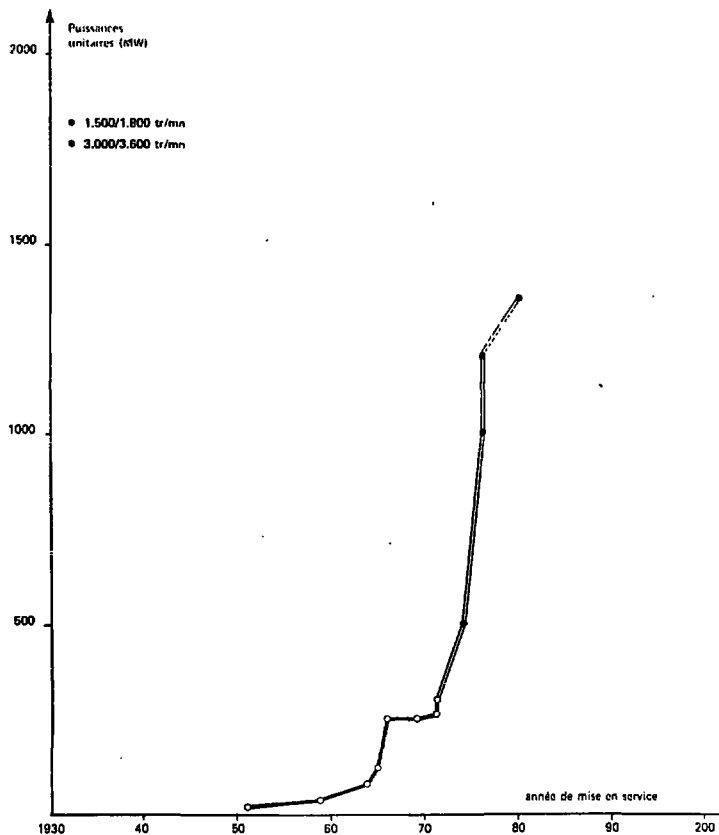


Figure 1

MATERIELS ELECTRIQUES

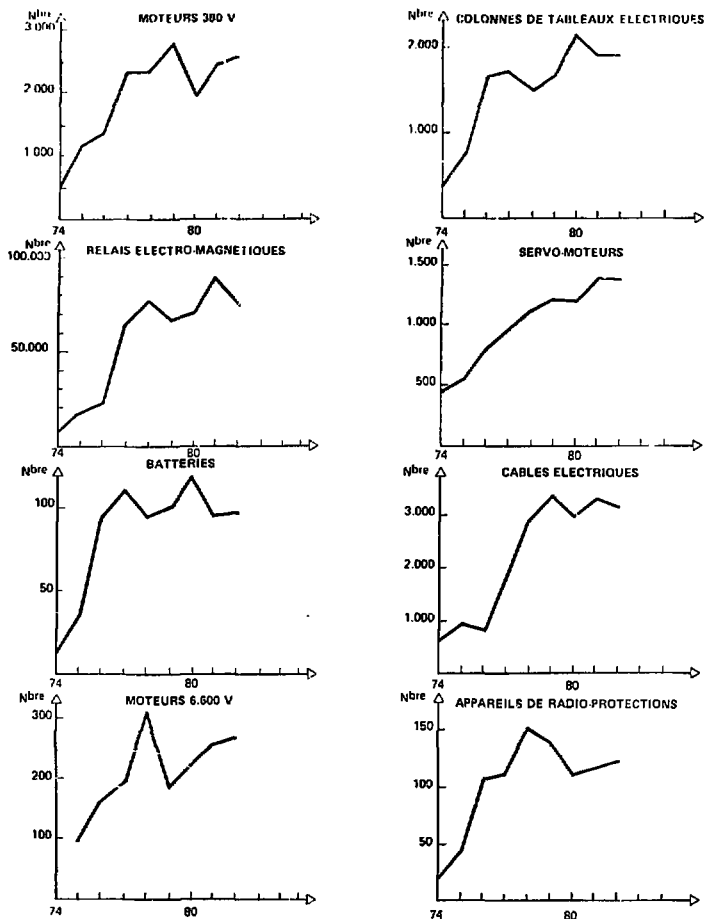
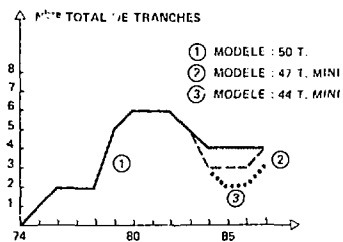


Tableau 4

REPARTITION ENTRE FILIERES

FILIERE PWR



FILIERE BWR

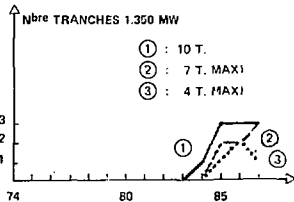
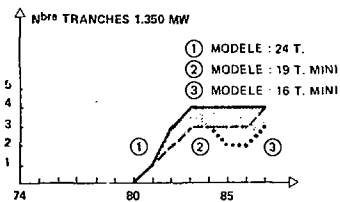
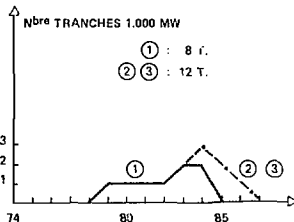
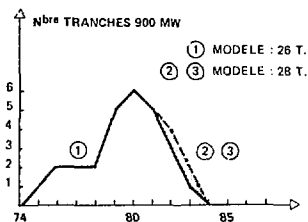
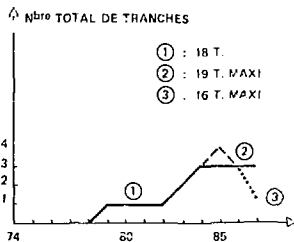


Tableau 2

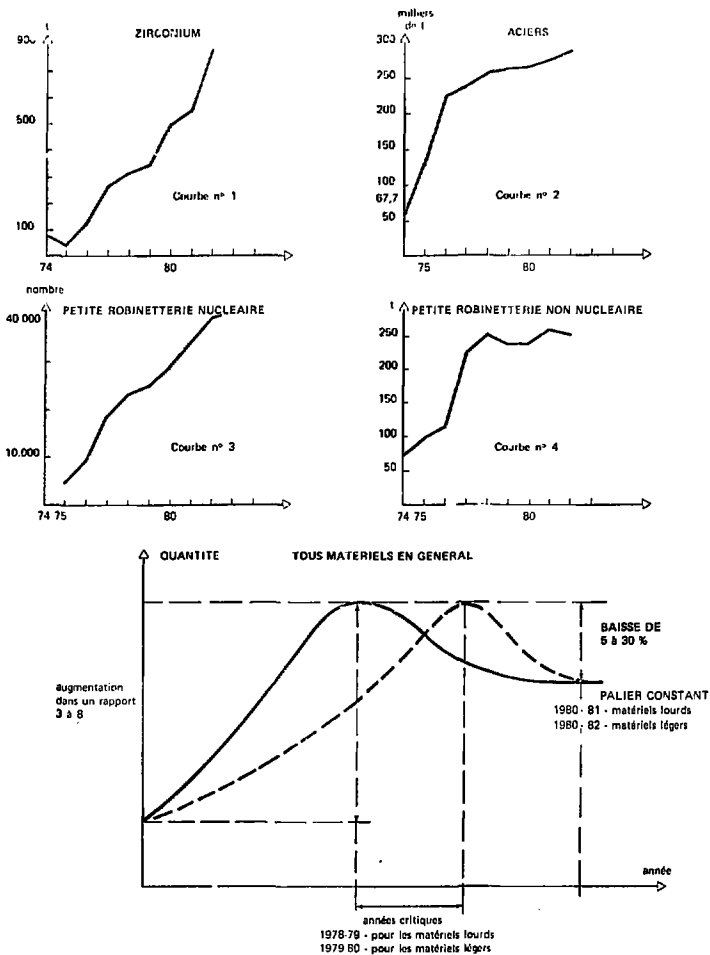


Tableau 3

