

FR8402332

FRA--137-3

CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT DU COMBUSTIBLE DES  
REACTEURS A EAU ORDINAIRE SOUS PRESSION.

C. DEHON, J. LECLERCQ, M. WATTEAU (*Fragema*)

## **FABRICATION DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE**

**Journee SFEN**

**Paris (France) 9 juin 1982**

## CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT DU COMBUSTIBLE DES REACTEURS A EAU ORDINAIRE SOUS PRESSION

### I - INTRODUCTION

Après une brève description de l'assemblage FRAGEMA standard qui équipe actuellement l'ensemble des réacteurs à eau ordinaire sous pression d'EdF, et une présentation de l'expérience acquise sur ce combustible grâce à l'ampleur du programme électronucléaire français et aux résultats obtenus aujourd'hui à l'exportation, on passera en revue les principaux objectifs et les grands axes du programme de recherche et développement que mène FRAGEMA avec la pleine collaboration du CEA, pour améliorer la conception des combustibles et proposer au client national, mais également sur les marchés extérieurs, des produits nouveaux adaptés aux exigences des exploitants.

On insistera particulièrement sur les nouveaux produits que sont, d'une part, le combustible AFA et, d'autre part, le poison consommable gadolin à UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Le combustible AFA, équipé de grilles d'espacement à faible absorption neutronique (structure en Zircaloy) et conçu pour être démontable, utilise le même crayon que le combustible standard. Ainsi, il bénéficie au maximum de l'expérience accumulée sur ce crayon, et se situe favorablement vis à vis d'éventuelles augmentations de performance ainsi qu'au plan du coût cycle.

Progressivement, ce nouveau combustible est appelé à assurer la relève du combustible standard, sa qualification et son industrialisation sont en cours et les premières recharges AFA pourront être livrées à partir de 1984.

Le poison consommable UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> présente, vis à vis des grappes actuelles de poison Pyrex, des avantages : suppression de déchets à la charge de l'exploitant, diminution de la pénalité neutronique liée à l'absorption résiduelle en fin de cycle ; son développement, qui associe FRAGEMA, FRAMATOME et le CEA, doit se concrétiser par une expérimentation en réacteur de puissance dès 1983, puis déboucher sur un emploi généralisé pour les premiers coeurs et les recharges (gestions optimisées, campagnes longues).

En conclusion, on insistera sur l'importance de la concertation que le concepteur doit entretenir à des titres divers avec l'exploitant, le fabricant, les équipes de R & D et le chaudiériste.

## II - L'ASSEMBLAGE FRAGEMA 17 x 17 STANDARD

C'est l'assemblage combustible qui actuellement équipe pour l'essentiel les réacteurs EdF de 900 MWe fournis par Framatome.

Son ossature est constituée de vingt quatre tubes-guides en Zircaloy 4, liés à des embouts en acier inoxydable et solidaires de huit grilles d'espace-ment en Inconel 718 réparties axialement entre ces derniers (figure 1).

Les crayons combustibles, gainés de Zircaloy 4 et emplis de pastilles frittées d'UO<sub>2</sub>, sont au nombre de 264. Maintenus transversalement et longitudinalement par les grilles, ils constituent, avec les tubes-guides et le tube en Zircaloy 4 destiné à recevoir l'instrumentation du coeur qui occupe l'axe de l'assemblage, un réseau carré 17x17 de 12,6 mm de pas.

L'assemblage a une hauteur un peu supérieure à 4 mètres, une section carrée de 214 mm de côté et pèse 655 kg. Il contient 460 kg d'uranium enrichi. S'il s'agit d'un assemblage destiné à un premier coeur, l'uranium est enrichi à 1,8 - 2,4 ou 3,1 % (selon que l'assemblage appartient à la première, seconde ou troisième région). Pour les régions suivantes, l'enrichissement est de 3,25 %.

Les tubes-guides, selon la position de l'assemblage dans le coeur, servent de logement à différents types de crayons : absorbants, poisons consommables, sources de neutrons ou simplement bouchons. Leur diamètre intérieur permet une insertion rapide des grappes de réglage en cas d'arrêt du réacteur ; en partie inférieure, ils présentent un retrait faisant office d'amortisseur hydraulique destiné à freiner la fin de course des grappes.

Les embouts sont perforés de lumières pour la circulation du caloporteur (mouvement ascendant). Ils comportent des logements dans lesquels viennent s'engager les pions disposés sur les plaques inférieure et supérieure du coeur pour assurer le positionnement correct des assemblages. L'embout supérieur est équipé de 4 ressorts multilames en Inconel 718 ; comprimés par la plaque supérieure du coeur, ces ressorts maintiennent axialement l'assemblage en bonne position.

Au niveau d'une cellule de grille, chaque crayon est supporté par un double système de ressorts et de bossettes dont l'action s'exerce dans deux plans perpendiculaires (figure 2).

A l'exception des grilles inférieure et supérieure, les six autres possèdent des ailettes défectrices, destinées à améliorer le mélange du réfrigérant (figure 3).

Les crayons combustibles sont fermés sous pression d'hélium : hélium pour améliorer les échanges thermiques entre l' $UO_2$  et la gaine ; pression pour s'opposer au fluage de la gaine sous l'effet de la pression du caloporteur. A l'intérieur du crayon, en partie supérieure, un ressort hélicoïdal en acier inoxydable, comprimé, assure le maintien de la colonne de pastilles d' $UO_2$  et ménage une chambre d'expansion destinée à accommoder le dégagement des gaz de fission au cours de l'irradiation (figure 4).

### III - L'EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION

A ce jour, on compte en France vingt et un réacteurs à eau ordinaire sous pression de 900 MWe en service industriel. Pour FRAGEMA, cela représente près de 5000 assemblages combustibles (plus de 1 300 000 crayons) irradiés, dont plus de 20 % ont déjà été déchargés définitivement (figure 5).

Avec deux réacteurs qui ont accompli leurs trois premiers cycles de fonctionnement (Fessenheim 1 et 2) et ceux qui vont les terminer prochainement, l'expérience française en matière de combustibles 17x17 ayant achevé leur irradiation complète est aujourd'hui la plus étendue. Elle correspond à l'atteinte de taux de combustion de 37 et 42 000 MWj/tU respectivement pour les assemblages et les pastilles d'UO<sub>2</sub> les plus épuisés ; ceci, sans que se soient manifestés de problèmes particuliers et, il faut le signaler, avec une marche en télé réglage de Fessenheim 2 pendant toute la seconde moitié de son troisième cycle. Notons également que cinq assemblages de Fessenheim 2 ont été rechargés pour un quatrième cycle actuellement en cours, et qu'avant fin 1982 des taux de combustion de l'ordre de 45 000 MWj/tU auront été atteints sur assemblage (figure 6).

Pour l'ensemble des réacteurs, l'activité du circuit primaire (exprimée figure 7 en curies d'Iode 131 par tonne) demeure très basse, nettement inférieure aux niveaux qui impliqueraient pour l'exploitant des contraintes de sûreté particulières, ce qui constitue la preuve d'une bonne fiabilité des combustibles FRAGEMA.

L'expérience FRAGEMA s'étend à la conception d'assemblages autres que l'assemblage 17x17 équipant les réacteurs du programme français et les chaudières vendues par FRAMATOMC. Ainsi, des épuisements moyens de 37 000 MWj/tU ont été obtenus sur des assemblages 15x15 fournis en Belgique pour le réacteur Tihange 1. Six recharges d'assemblages 14x14 ont aussi été livrées pour les réacteurs belges de Doel 1 et 2 ; leur emploi avec des assemblages de conception différentes a nécessité des études de compatibilité détaillées qui ont permis au client d'obtenir la licence de fonctionnement à pleine puissance avec un coeur mixte.

En Allemagne, quatre assemblages 16x16 de démonstration effectuent actuellement avec succès leur second cycle d'irradiation dans le réacteur de BIBLIS B. Ils sont conçus de manière à pouvoir être, si nécessaire, démontés et reconstitués, leur embout inférieur étant à cette fin amovible. Dans ce cas également, l'autorisation de chargement a été obtenue des instances de sûreté allemandes, sur la base d'un programme d'études et d'évaluation expérimentale important.

En matière de réalisation et d'exploitation de combustible pour réacteurs à eau ordinaire sous pression, l'expérience acquise par FRAGEMA est donc quantitativement extrêmement importante ; elle l'est aussi qualitativement, grâce au suivi et à l'analyse approfondie de la fabrication et de l'irradiation qu'assurent ses équipes techniques. Comme dit plus haut, elle a apporté la preuve de la fiabilité du produit et de son aptitude à réaliser les performances que les clients sont en droit d'en attendre. Elle a aussi montré que les rares non-étanchéités qui se sont produites en réacteur ne présentaient pas, sauf cas exceptionnels où l'origine du défaut était extérieure au combustible, de réelle gravité et que l'activité du circuit primaire demeurait alors extrêmement faible et en tout état de cause largement en-deça des valeurs contraignantes pour l'exploitation.

C'est cette expérience, associée aux résultats d'études et de programmes d'essais, qui permet d'envisager la marche dans un avenir proche des centrales en suivi de réseau, sans craindre d'effets pernicieux pour le combustible protégé par des procédures et des spécifications de fonctionnement ne constituant qu'une astreinte modérée acceptable par l'exploitant.

Enfin, grâce à elle, FRAGEMA a pu engager, à partir d'informations rassemblées en grand nombre, une confrontation entre les données de fabrication et d'exploitation, d'une part, et le comportement des assemblages et crayons combustibles d'autre part, qui d'ores et déjà s'avère très prometteuse.

En complète collaboration avec le CEA, son partenaire privilégié pour la R & D dont elle est le vecteur industriel en matière de combustibles pour réacteurs à eau et services associés, FRAGEMA poursuit également un programme de recherche destiné à approfondir la connaissance des phénomènes régissant le comportement du combustible et à explorer les voies susceptibles de déboucher sur des améliorations techniques ou économiques, ainsi qu'un important programme de développement de produits nouveaux .

#### IV - LES OBJECTIFS ET LES AXES DE DÉVELOPPEMENT

La recherche d'une fiabilité toujours accrue marque l'ensemble de ce programme de développement qui vise en premier lieu, dans le respect des exigences de sûreté, à permettre l'amélioration de la souplesse d'exploitation des centrales, c'est-à-dire à autoriser le fonctionnement des réacteurs en suivi du réseau (suivi de charge journalier, réglage primaire de fréquence, télé-réglage) et à accroître la souplesse de gestion du combustible.

L'obtention de meilleures performances économiques, c'est-à-dire une meilleure utilisation de l'uranium, ainsi que l'accroissement des performances technologiques (taux d'épuisement, puissance linéique, température du fluide réfrigérant) figurent également au premier rang des objectifs de FRAGEMA.

Justifiés par l'analyse économique et par les exigences du marché, ces objectifs peuvent apparaître par certains aspects techniquement contradictoires; il existe néanmoins plusieurs voies complémentaires pour aboutir aux meilleurs compromis possibles et elles sont activement explorées:

- . réduction des captures neutroniques - parasites, en remplaçant les matériaux de structure par des matériaux moins neutrophages ( parallèlement, élimination d'éléments donnant naissance à des produits d'activation gênants comme le Cobalt 60) ;
- . optimisation neutronique du réseau, les solutions pouvant être différentes selon les conditions économiques du moment, le type de cycle de combustible (avec ou sans retraitement), l'usage du plutonium fermé ;
- . réparation des assemblages qui, bien que n'étant pas obligatoirement source d'économie dans un bilan global, compte tenu du nombre réduit d'assemblages dont le rechargement nécessiterait réparation, permet néanmoins d'économiser la matière fissile ;



- . augmentation de l'épuisement de décharge, génératrice d'économie sur le coût de cycle : des taux de combustion moyens sur recharge de 45 000 MWj/tU (33 000 actuellement) ou de 50 000 MWj/tU sur assemblage sont envisagés dans l'avenir, permettant des cyclages par tiers de coeur avec des campagnes de dix huit mois, ou des cyclages par quart de coeur avec des campagnes annuelles (outre l'expérimentation "fort épuisement" dans Fessenheim 2 déjà citée, l'irradiation de quelques assemblages enrichis à 4,5 %, jusqu'à 45 000 MWj/tU en quatre cycles annuels, est en cours de préparation avec EdF pour débiter à partir de mi-83) ;
- . optimisation de la gestion du combustible : des schémas de gestion conduisant à introduire certains assemblages neufs au centre du coeur, en conservant des assemblages usés en périphérie, minimisent les fuites radiales et donc réduisent l'utilisation d'uranium et le coût de cycle, ils diminuent également les doses de rayonnement reçues par la cuve du réacteur qui conditionnent sa durée de vie ;
- . optimisation de la conception des poisons consommables : les gestions évoquées ci-dessous, ainsi que les cycles de dix-huit mois avec gestion standard, conduisent à des difficultés pour aplatir la puissance dans le coeur et pour conserver négatif le coefficient de température du modérateur ; pour remédier à ces difficultés, pratiquement il est nécessaire d'utiliser des poisons consommables à tous les cycles (alors qu'actuellement, ils ne le sont qu'à la première campagne) et il faut en optimiser la conception, pour réduire les pénalités induites par leur antiréactivité résiduelle en fin de cycle.

Aujourd'hui, ce programme de développement se concrétise en débouchant sur deux nouveaux produits FRAGEMA :

- le combustible AFA d'une part,
- les poisons consommables sous forme d'UO<sub>2</sub> gadolinié d'autre part.

## V - LE COMBUSTIBLE AFA

Ce nouveau combustible a été conçu par FRAGEMa avec la collaboration du CEA qui apporte également son soutien aux programmes de qualification et d'industrialisation actuellement en cours ; quatre assemblages de type AFA sont d'ailleurs en irradiation dans la CAP depuis le début de 1982, au titre d'une action tripartite menée avec EdF et le CEA pour étudier le comportement du combustible en suivi de charge et téléréglage.

L'AFA a été développé pour être utilisé dans les réacteurs réalisés par FRAMATOME et qui équipent les centrales EdF : d'abord les réacteurs de 900 Mwe, puis ceux de 1300 Mwe et les modèles ultérieurs ; mais, il s'agit d'une conception transposable pour emploi dans tout type de réacteur à eau ordinaire sous pression.

Comment se situe le combustible AFA, dans sa version 900 Mwe, vis-à-vis du combustible standard décrit plus haut ?

Pour des raisons de compatibilité avec le réacteur et avec le combustible standard 17x17 (cas des coeurs mixtes de transition), on a conservé le dimensionnement d'ensemble de l'assemblage : hauteur et section, nombre et disposition des crayons, tubes-guides et tube d'instrumentation, nombre et disposition des grilles d'espacement (figure 8).

En ce qui concerne les crayons, le souci de continuer à bénéficier au maximum de l'expérience déjà accumulée a été déterminant dans la décision prise d'équiper l'AFA de crayons standard : même diamètre extérieur, même épaisseur de gaine, même diamètre d'UO2 que ceux du produit actuel. A l'avantage d'employer un crayon dont le comportement en service est maintenant bien connu (notamment pour ce qui est de l'allongement, de l'arcure et des conditions de maintien par les grilles), ce choix ajoute celui de préserver l'aptitude du produit aux accroissements de performance (puissance linéique) qui aurait été entamée par l'adoption d'un crayon de diamètre plus faible comme cela a pu être un moment envisagé. On a d'ailleurs pu montrer que le choix du crayon standard était économiquement justifié, puisqu'il se situe favorablement en termes de coût de cycle.

Si l'on a pour l'AFA conservé les crayons standard, les études ont par contre conduit à adopter un nouveau type de grille d'espacement (figure 9), présentant par rapport au modèle actuel le double avantage d'une forte réduction des captures neutroniques parasites et d'une diminution importante de la quantité de produits d'activation libérée dans le circuit primaire.

La conception retenue pour ces nouvelles grilles leur assure une résistance mécanique en fonctionnement normal ou accidentel comparable sinon supérieure à celle des grilles standard. Par ailleurs, elle conserve pour le maintien des crayons, le même principe, le même dimensionnement et les mêmes conditions mécaniques, déjà largement éprouvés en réacteur (on retrouve là, la préoccupation qui a guidé le choix des crayons : améliorer le combustible en continuant de s'appuyer sur l'expérience acquise).

Au lieu d'être réalisées en majeure partie en Inconel 718 avec quelques composants en acier inoxydable comme les grilles standard, les grilles AFA ont une structure en Zircaloy sur laquelle sont rapportés des ressorts en Inconel. Ce dessin réduit de 80 % le volume d'Inconel et d'acier présent dans chaque grille, en lui substituant un volume de Zircaloy plus important, mais largement moins neutrophage et qui, à la différence de l'Inconel, ne libère pas de Cobalt 60.

Le gain en réactivité lié à l'introduction des grilles AFA a été calculé : à l'équilibre, pour une même énergie fournie, il correspond à un gain sur l'enrichissement des recharges de 0,07% (l'enrichissement d'une recharge standard étant de 3,25 %, celle d'une recharge AFA sera de 3,18 %), ce qui représente, par an et par réacteur (900 MWe), une économie de 3 tonnes d'uranium naturel et de 3000 U.T.S.

On a également calculé pour l'AFA, une réduction d'un facteur sept de la quantité de Cobalt 60 libéré par les grilles dans le circuit primaire et, corrélativement, pour tout le réacteur, une réduction de 10 % de l'activité imputable à cet élément.

La conception et la qualification des grilles AFA s'appuient sur un important programme d'études et d'essais, devant s'achever en 1983, qui couvre notamment les aspects suivant : choix et comportement sous irradiation (grandissement, relaxation) des matériaux ; fabrication des demi-produits (feuillard de Zircaloy), composants et grilles ; vérification des caractéristiques de celles-ci et de leurs performances thermohydrauliques (pertes de charge, capacité de mélange).

Autre importante innovation par rapport à l'assemblage standard, l'AFA est un assemblage démontable ; c'est-à-dire que les liaisons entre tubes-guides et embouts (figures 10 et 11) ont été conçues de telle sorte qu'il soit possible de les démonter et remonter sur assemblage neuf, mais surtout sur assemblage irradié et sous la protection de plusieurs mètres d'eau.

Cette démontabilité, dont le développement a été mené de pair avec celui des outillages nécessaires, complétés par les moyens d'extraire et réintroduire des crayons, et avec la mise au point d'une méthode de détection des crayons non étanches au sein d'un assemblage, doit donner un surcroît de souplesse et permettre une économie de matière fissile : élimination et remplacement de crayons défectueux en vue de poursuivre l'irradiation de l'assemblage ou l'expédier au retraitement ; reconstitution d'assemblages dont tout ou partie des crayons sont sains, mais dont la structure a été endommagée.

Entre les différents modes de liaison embout/tube-guide étudiés, le choix s'est arrêté sur la solution apparue la plus simple et la plus sûre : fixation de chaque tube-guide par une vis, dont le freinage est réalisé par expansion de la virole dont sa tête est munie. Le même principe est appliqué aux liaisons supérieure et inférieure.

Là encore, la conception et la qualification des liaisons démontables de l'AFA sont supportées par un programme complet d'études et d'essais : dimensionnement, caractéristiques mécaniques et compatibilité physico-chimique des pièces en présence (à l'état neuf et après séjour prolongé en ambiance PNR), démonstration de la démontabilité et de la remontabilité ; entreprise sur assemblages en géométrie CAP (hauteur deux mètres), cette démonstration doit se poursuivre à partir de mi-82 sur assemblage en géométrie 900 MWe.

Sont actuellement en cours, ou en voie d'achèvement, les essais destinés à confirmer sur assemblages complets les performances de l'AFA : essais mécaniques, essais hydrauliques de compatibilité avec le combustible standard (boucle VITEL), essais thermo-hydrauliques (boucles GRAZIELLA et OMEGA), essais d'endurance (boucle SUPERBEC), essais de démontabilité-remontabilité (en préparation). Pour l'essentiel, ils seront terminés à mi-82, le programme complet s'achevant à la fin du premier trimestre 1983, avec l'interprétation des derniers essais thermo-hydrauliques.

Les résultats de ces essais compléteront le dossier élaboré par FRAGEMA pour permettre à EdF de soumettre au SCSIN la demande d'autorisation de chargement de l'AFA.

Parallèlement, l'industrialisation de ce nouveau combustible se prépare activement, avec comme objectif un début de production avant la fin de 1983, de manière à être prêt pour la fourniture des premières recharges AFA à partir de mi-84. Au-delà, il est prévu que la production AFA augmente progressivement, mais à un rythme soutenu, de manière à ce que le nouveau combustible ait pris la relève de l'ancien en quelques années.

Pour être complet, il faut ajouter que la conception, déjà aujourd'hui bien avancée, d'un assemblage démontable à grilles en Zircaloy (avec ressorts en Inconel) pour les réacteurs de type quatre boucles, s'inscrit dans la ligne de l'effort de développement de l'AFA. Il est également clair que la conception AFA est adaptable avec ses avantages à d'autres dessins de combustibles eau ordinaire : assemblages 14x14, 15x15 ou 16x16 équipant certains réacteurs étrangers et que cette transposition est techniquement envisageable, si son intérêt commercial est établi (étendue du marché, intérêt manifesté par les exploitants).

## VI - POISON CONSOMMABLE UO2-Gd2O3

Avec les premiers coeurs des réacteurs à eau ordinaire sous pression, on utilise des poisons consommables, éléments neutrophages compensant l'excès de réactivité du combustible en début de vie et disparaissant progressivement, par absorption de neutrons, en même temps que diminue cette réactivité. La distribution judicieuse de ces poisons dans le coeur aplatit et régularise la distribution de puissance.

Avec les nouvelles gestions du combustible déjà évoquées et les campagnes longues qui exigeront des enrichissements accrus, l'emploi de poisons consommables ne se limitera plus aux premiers coeurs et devra être étendu aux recharges.

Actuellement, les poisons utilisés se présentent sous forme de grappes amovibles de crayons placés à l'intérieur des tubes-guides d'une partie des assemblages ; ces crayons à gainage d'acier inoxydable contiennent des tubes de verre dont un des éléments composants est le bore, et donc en particulier le bore 10 puissamment neutrophage.

Cette solution mérite d'être améliorée au moins sur deux points :

- après avoir joué leur rôle, c'est-à-dire lorsque la réactivité du coeur a suffisamment décru, les crayons de poison conservent un pouvoir absorbant dès lors parasite (gainage, bore résiduel) ;
- après irradiation, les grappes de poison constituent un déchet encombrant, qui n'est pas pris en charge par les usines de retraitement et dont l'exploitation doit faire son affaire.

Parmi les voies envisageables pour optimiser les poisons consommables et éliminer ces pénalités, FRAGEMMA s'est engagée, en plein accord avec EdF, vers l'emploi du gadolinium : pour une partie des assemblages destinés à constituer un premier coeur ou une recharge, quelques uns des crayons combustibles habituels, convenablement répartis, sont remplacés par des crayons chargés de pastilles obtenues par frittage d'un mélange de poudre d'UO2 et de quelques pourcents d'oxyde de gadolinium Gd2O3.

L'oxyde de gadolinium fait déjà l'objet d'applications comme poison consommable, notamment dans le cas des réacteurs bouillants, et son emploi est également expérimenté à l'heure actuelle dans un nombre limité de réacteurs pressurisés étrangers.

On peut dire qu'en FRANCE son utilisation ne constitue pas réellement une nouveauté, puisque FRAGEMA peut s'appuyer pour développer son produit sur l'acquis du CEA, dont le début des travaux sur l'UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> remonte aux premières années de la précédente décennie (actuellement, des crayons UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont en irradiation dans la CAP).

A partir de cette expérience, FRAGEMA et le CEA appuyés par FRAMATOME mènent un vigoureux programme qui couvre les différents aspects de la mise en oeuvre de l'UO<sub>2</sub> gadolinié : procédés de fabrication et industrialisation, évaluation des caractéristiques et du comportement neutroniques et thermomécaniques, tenue sous irradiation, méthodes de calcul.

Actuellement, en étroite concertation avec EdF, se poursuivent les études de faisabilité nécessaires pour engager dès 1983 une expérimentation en réacteur de puissance, à partir de laquelle l'utilisation de ce type de poison pourra être généralisée dans un avenir proche.

## VII - CONCLUSION

En conclusion à cet exposé consacré à la conception des combustibles eau ordinaire, il n'est pas inutile de rappeler quelques conditions nécessaires au succès de ce genre d'activité. Elles concernent la concertation qui doit exister entre différents protagonistes et le concepteur et que celui-ci doit s'efforcer d'entretenir.

. concertation avec l'exploitant, d'une part, pour connaître et comprendre ses exigences, les qualités qu'il attend du produit, la manière dont il les hiérarchise, d'autre part, pour avoir le retour des résultats d'exploitation qui permettent de comprendre le comportement du combustible et d'améliorer celui-ci ;

. concertation avec le fabricant, d'une part, pour connaître les possibilités techniques de la fabrication et leurs limites, aussi pour apprécier les coûts résultant de la conception (analyse de la valeur), d'autre part, pour donner au fabricant une vue exacte et suffisante des raisons qui sous-tendent les exigences de celle-ci (c'est une assurance de qualité).

A la croisée de ces deux voies, il revient au concepteur d'éclairer les relations complexes existant entre les données de fabrication, les données d'exploitation et le comportement du combustible.

Il faut aussi qu'il puisse s'appuyer sur une forte R & D, conduite par des équipes d'experts compétents dotées de moyens techniques puissants (boucles d'essais, réacteurs, laboratoires chauds ...) qui l'aident à résoudre les problèmes à court terme, à développer des produits nouveaux pour le moyen terme et à préparer le long terme en menant des recherches plus spéculatives. En contrepartie, il apportera des problèmes concrets correspondant à des difficultés ou des préoccupations réelles, ainsi que des orientations étayées par le contexte industriel et commercial.

Enfin, ne serait-ce que pour d'évidentes raisons de compatibilité de produits, il est extrêmement important que la concertation entre le concepteur de combustible et le chaudiériste soit permanente et maintenue aussi active et vivante que possible.

Actuellement, il semble que pour l'essentiel les conditions d'une telle concertation soient réunies dans notre pays et que cette dernière doivent continuer d'aller en se développant et en gagnant en efficacité.



FIGURE 1

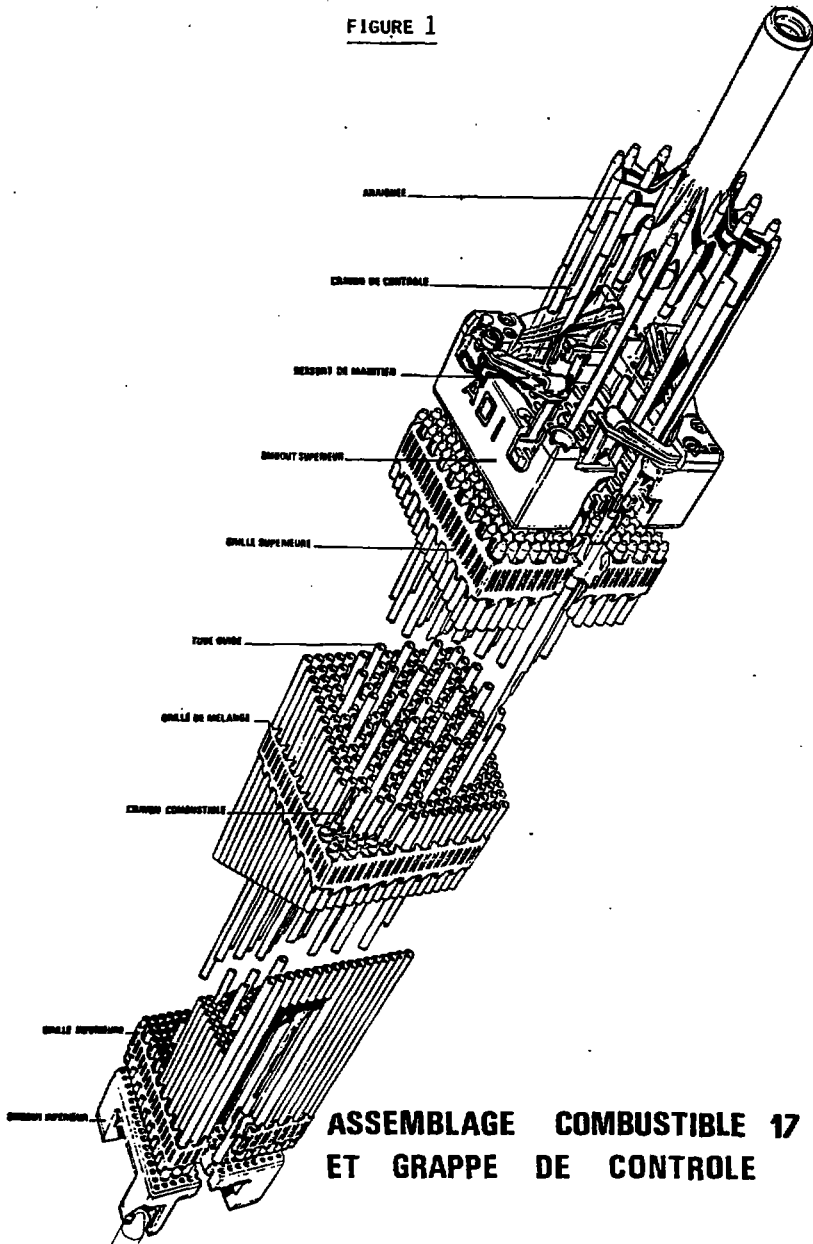
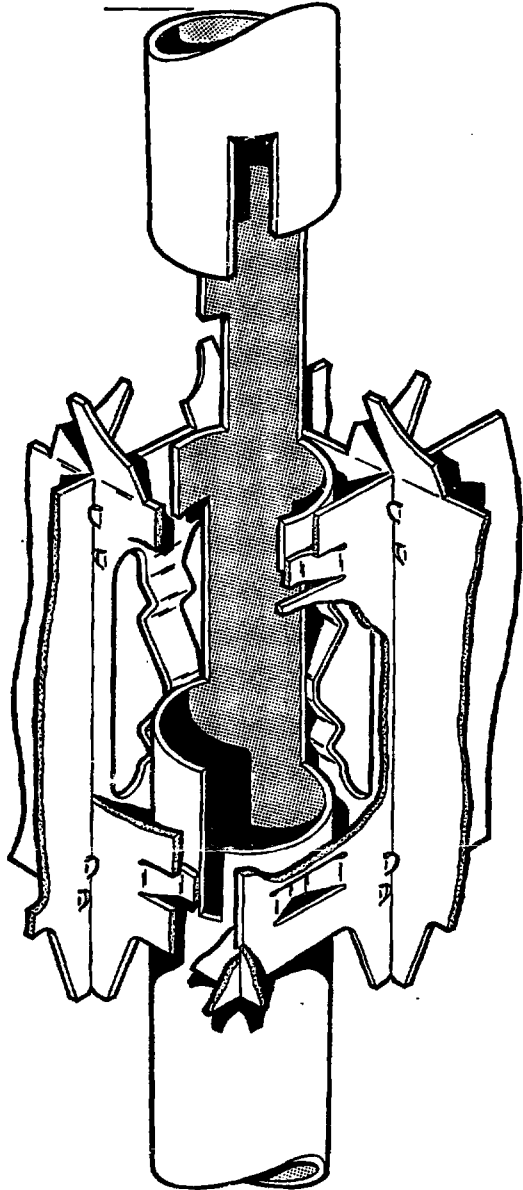
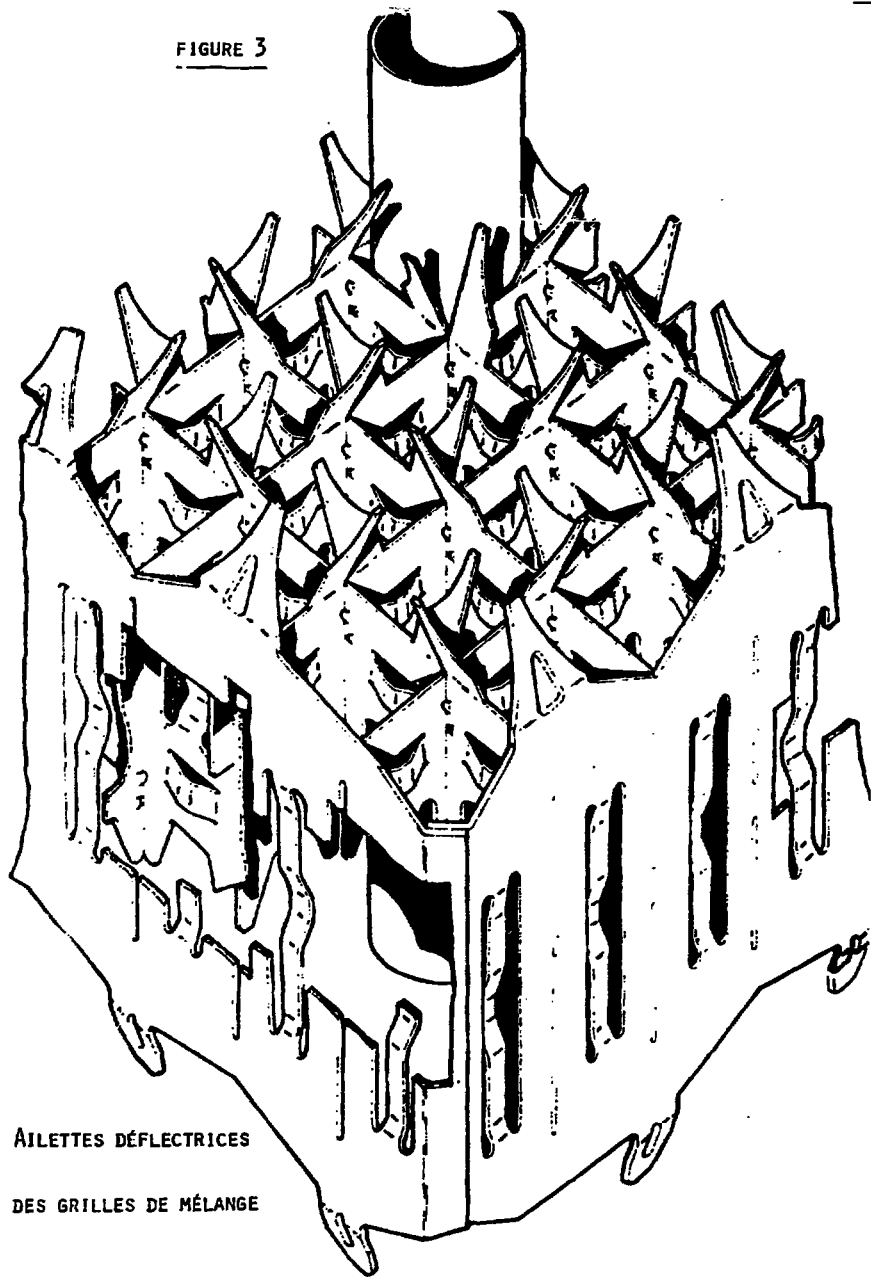


FIGURE 2



MAINTIEN DE CRAYONS AU NIVEAU DES GRILLES D'ESPACEMENT

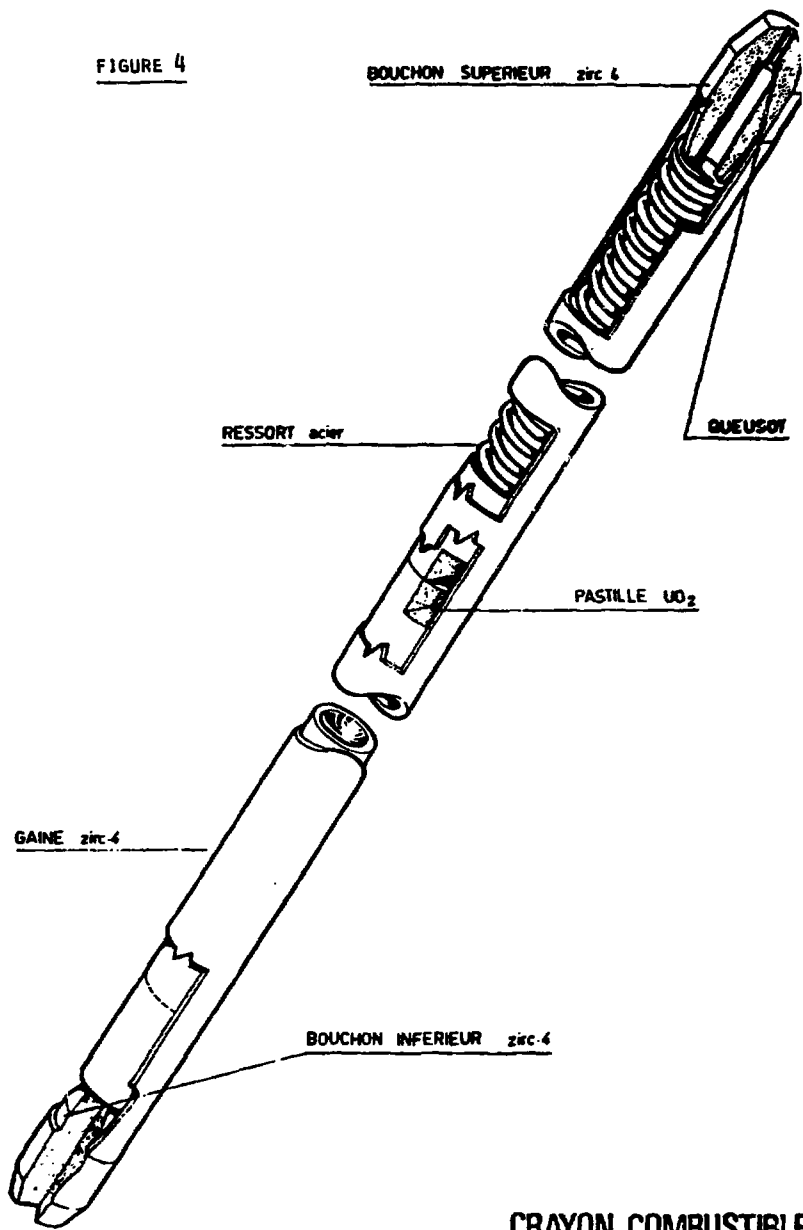
FIGURE 3



AILETTES DÉFLECTRICES

DES GRILLES DE MÉLANGE

FIGURE 4



**CRAYON COMBUSTIBLE**

EXPERIENCE FRAGEMA : NOMBRE DE CRAYONS COMBUSTIBLES IRRADIES ET  
NOMBRE DE CRAYONS EN SERVICE

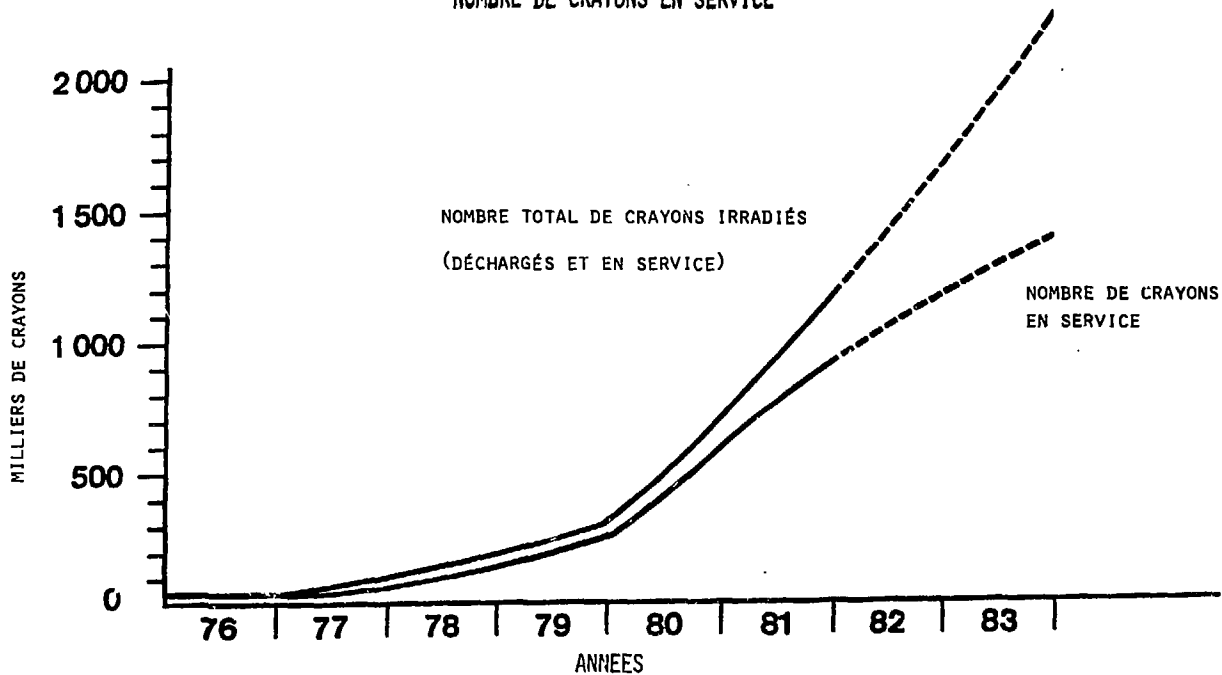


FIGURE 5

EXPERIENCE FORTS TAUX DE COMBUSTION DE FRAGEMA  
(ASSEMBLAGES STANDARD 17 x 17)

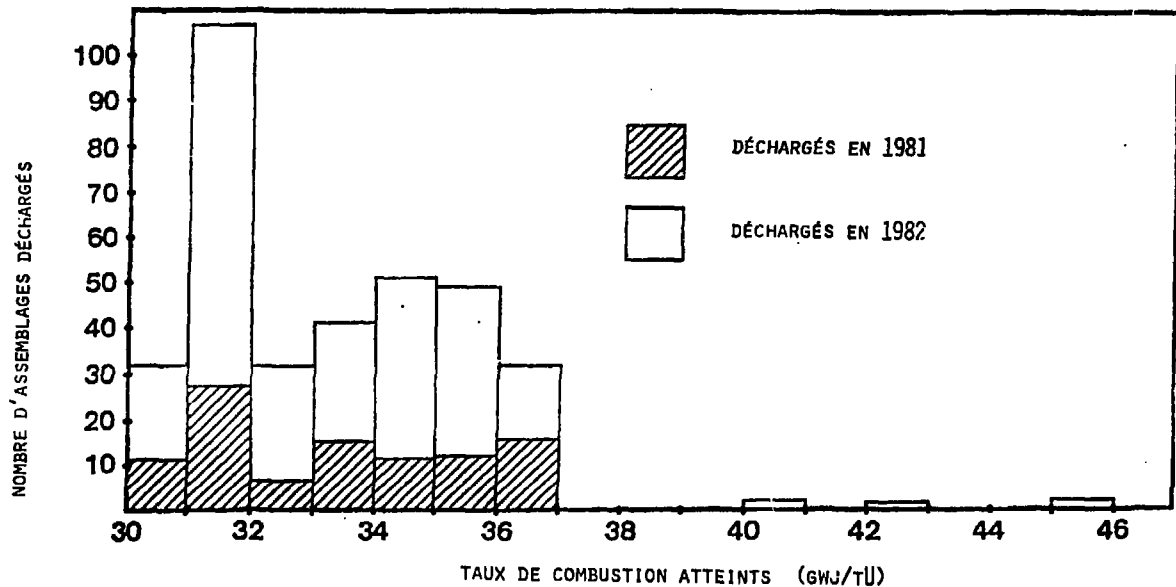


FIGURE 6

EXPERIENCE FRAGEMA : VALEURS D'ACTIVITE DU CIRCUIT PRIMAIRE RELEVÉES AU COURS DE  
35 CYCLES D'IRRADIATION

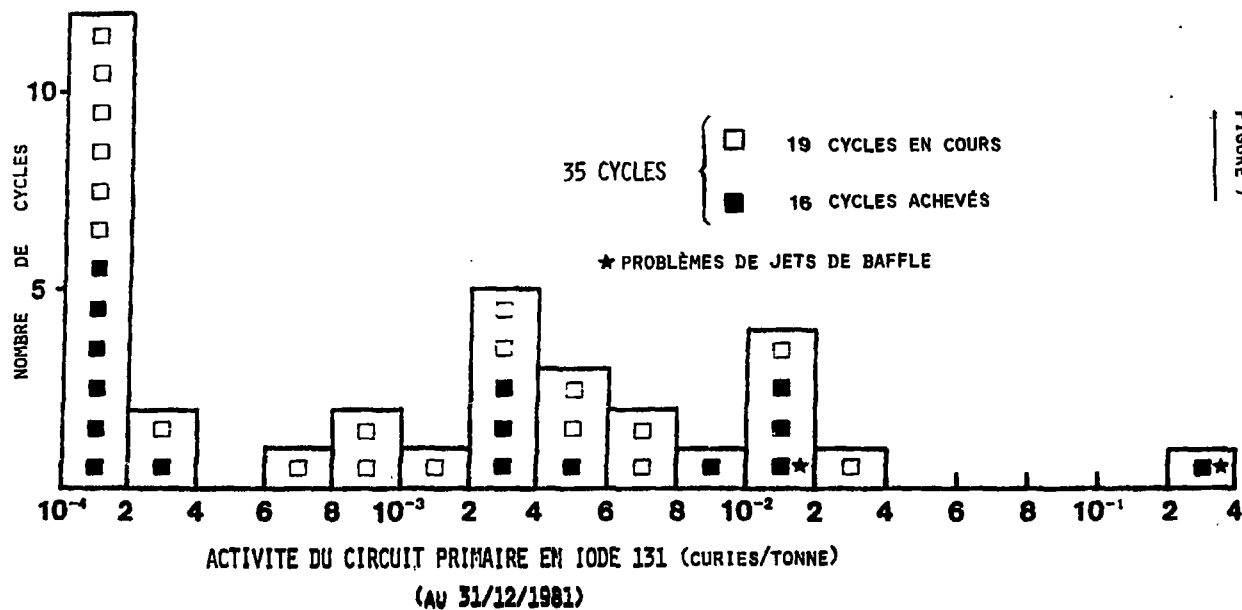


FIGURE 7

FIG.8

ASSEMBLAGE DE COMBUSTIBLE AVANCE (A.F.A.)

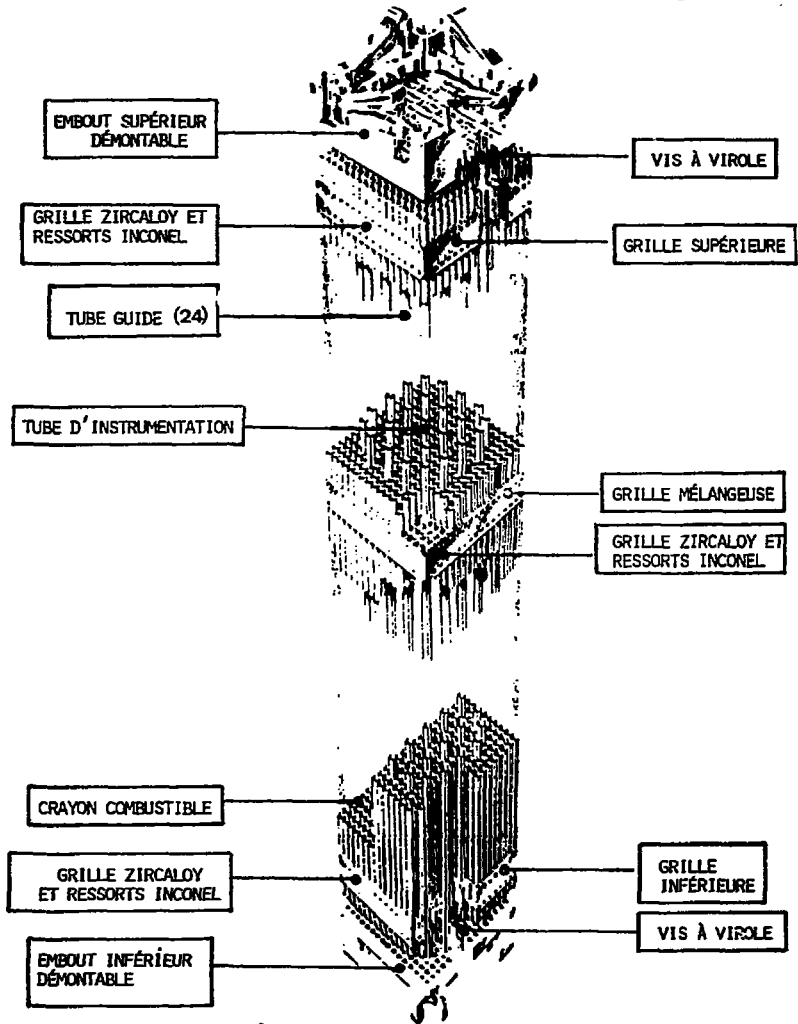
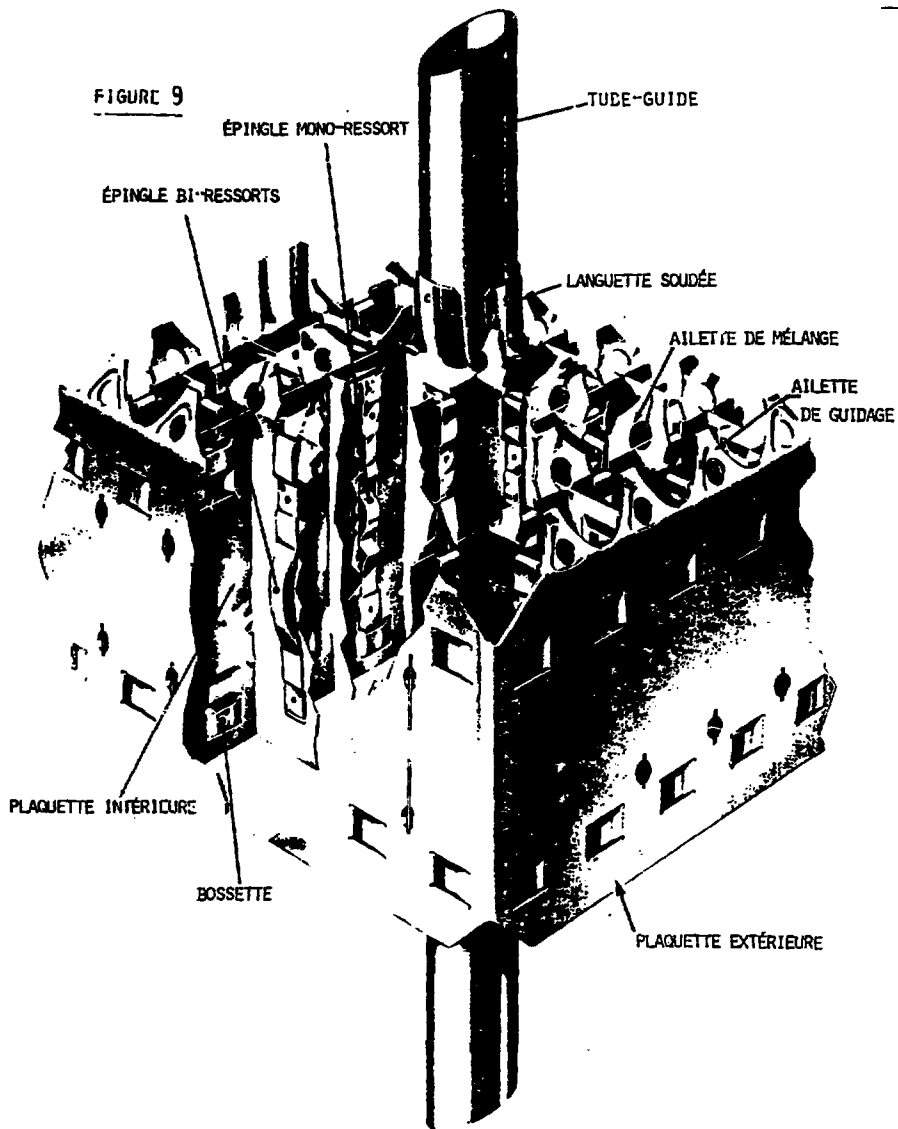




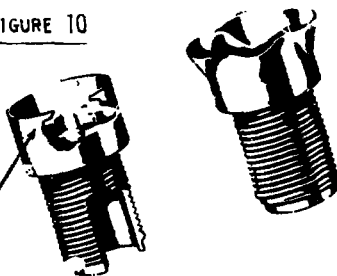
FIGURE 9



GRILLE AFA

FIGURE 10

VIS À VIROLE



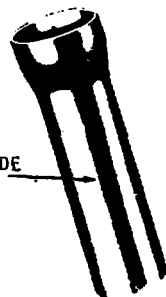
PLAQUE ADAPTATRICE



MANCHON FILETÉ

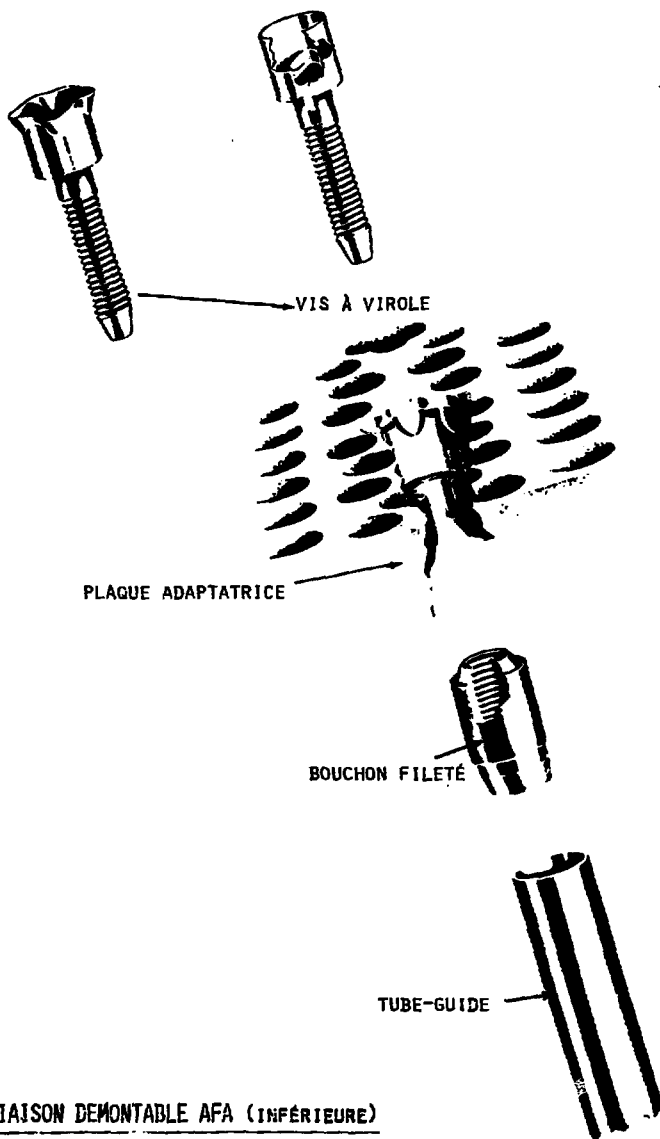


TUBE-GUIDE



LIAISON: DEMONTABLE AFA (SUPÉRIEURE)

FIGURE 11



LIAISON DEMONTABLE AFA (INFÉRIEURE)