

- - AVR. 1977

LES REACTEURS C.A.S.

Georges MARTINOT	)	Directeur de Programmes à la
Bernard LEROUGE	)	Société Technique pour l'Energie
	)	Atomique (TECHNICATOME)

- LE MARCHE -

La crise énergétique actuelle et ses prolongements prévisibles à long terme, se traduisant par un renchérissement des prix des combustibles fossiles, ouvre un marché important aux réacteurs nucléaires de petite et moyenne puissance. En fait, trois applications principales sont en vue :

- la production d'électricité pour l'alimentation des réseaux de faible ou moyenne puissance qui existent dans de nombreuses parties du monde. L'Agence Internationale à l'Energie Atomique estime à plusieurs dizaines d'unités le marché des petites centrales à équiper dans les années prochaines. Il faut bien voir qu'une unité de production d'électricité ne doit pas raisonnablement représenter plus de 10 % de la puissance totale du réseau et que des réseaux de l'ordre de 1 000 à 2 000 MWe se rencontrent très fréquemment, notamment dans les pays en voie de développement.
- la production de chaleur, pour répondre aux besoins du secteur industriel ou du secteur domestique et tertiaire.
- la production de vapeur pour la propulsion navale marchande.

Les applications chaleur et électricité peuvent être plus ou moins couplées. La production combinée présente des avantages thermodynamiques, mais il convient dans chaque cas particulier d'en mesurer avec soin l'intérêt économique et se garder d'émettre un jugement global hâtif :

Ainsi dans les pays arides, envisage-t-on l'installation de réacteurs fournissant de l'électricité au réseau et de la chaleur pour des usines de dessalement.

Dans les pays industrialisés nantis de grands réseaux électriques interconnectés, c'est la chaleur de "process", à une température inférieure à 270°C, qui est essentiellement visée. Comme dans le cas précédent, la demande est le plus souvent permanente et garantit un bon facteur de charge de l'installation. La production d'électricité n'est alors qu'un objectif secondaire. Le réacteur et l'usine associée pourront chercher par exemple à s'auto-alimenter.

Dans les pays froids, on songe également aux applications mixtes : chauffage urbain et production d'électricité par contre-pression. Mais le facteur de charge est moins satisfaisant et l'économie s'en ressent.

Face à ce marché, et forts de leur expérience en matière de réacteurs à eau pressurisée, Le Commissariat à l'Energie Atomique et sa filiale Technicatome s'attachent à développer, en relation étroite avec l'Industrie, des chaudières nucléaires bien adaptées. Les Ateliers et Chantiers de Bretagne, du groupe Alsthom-Atlantique bénéficient d'une licence du CEA et des offres commerciales ont déjà été établies et sont en cours de négociation avec plusieurs clients potentiels.

Dans ce qui suit, nous nous bornerons à montrer les caractéristiques particulières du produit CAS, caractéristiques en grande partie imposées par les contraintes du marché.

2 - LES CONTRAINTES -

2.1. - Sauf dans les cas d'applications purement électrogènes, l'utilisation des réacteurs implique des contraintes techniques spécifiques :

- un environnement industriel ou urbain (port dans le cas du navire) qui a naturellement des implications au niveau de la production d'effluents, des rejets et de la sûreté. Cet environnement peut être lui-même une source de danger pour le réacteur (certaines usines chimiques stockent des gaz ou des liquides potentiellement dangereux).

.../...

- des contraintes d'exploitation liées à la nature même de la demande d'énergie : périodes de renouvellement du combustible, variations de charges, conditions particulières d'emploi (par exemple prise en compte d'accéléérations importantes, dans le cas de la propulsion navale).
- un encombrement et un poids réduit dans le cas des applications marine marchande.

2.2. - Les contraintes économiques diffèrent selon les utilisations envisagées et sont dans l'ensemble très sévères -.

Chacun sait que les réacteurs nucléaires sont fortement sujet à l'effet de taille. Or, le marché visé implique nécessairement des puissances nettement inférieures à celles des grosses unités électronucléaires. Sa diversité inciterait à concevoir des installations "sur mesure", ce qui nuirait considérablement à la compétitivité du produit. Pour diminuer les coûts, une certaine standardisation est recherchée, au moins au niveau des composants et des principes de base du système. Dans le même but, on s'efforcera de réaliser en usine des sous-ensembles aussi importants que possible ce qui contribue en outre à la qualité des fabrications et réduit la durée des opérations sur le site.

La compétitivité d'une chaudière à vocation industrielle ne peut être jugée hors de son contexte d'emploi : Par exemple, le problème du secours apparaît primordial. Comme toute installation, les réacteurs présentent inévitablement des indisponibilités programmées ou fortuites. Il ne peut être question de fractionner la production sur plusieurs unités nucléaires encore moins puissantes ; il faut donc conserver des moyens classiques de secours, dont la nature et le coût différeront selon le délai d'intervention exigé.

Dans une usine chimique, une fraction non négligeable de la production pourrait ainsi échapper en permanence au réacteur pour garantir un niveau minimum d'approvisionnement immédiat.

Ces contraintes imposent dans les conditions économiques actuelles une taille minimum de quelques centaines de Mégawatts thermiques par unité.

3 - LES CAS

Les CAS (Chaudières Avancées de Série, par similitude avec la CAP, Chaudière Avancée Prototype, qui fonctionne à Cadarache depuis fin 1975) sont des petits réacteurs à eau pressurisée dont deux versions sont développées :

- La CAS 2G, d'une puissance de 250 MWth, essentiellement dessinée pour les applications navales,
- La CAS 3G, d'une puissance de 420 MWth, conçue pour les applications terrestres.

Ces deux produits diffèrent essentiellement par le nombre de couples de composants (pompe-échangeurs) du circuit primaire, et par leur mode de contrôle (purent mécanique ou partiellement chimique).

La figure 1 schématise la coupe d'un réacteur et montre la circulation des fluides primaire (eau sous pression à 140 bars) et secondaire (eau-vapeur à 47,5 bars). On constate que le système se compose principalement d'une cuve contenant le coeur et ses structures internes, à laquelle sont reliés directement des ensembles pompe-générateur de vapeur. Cette liaison par l'intermédiaire de cornes, sortes d'excroissances de la cuve, peut être soudée en usine ou être réalisée sur le site par l'intermédiaire de brides.

Les mécanismes de commande et les pompes présentent des dessins originaux qui tirent parti de l'expérience acquise. Tous ces gros composants sont maintenus en position avec un jeu faible par des structures en acier non représentées sur la figure, qui participent à la protection contre les rayonnements. Le circuit primaire du réacteur comprend en outre un pressuriseur à vapeur, relié au circuit primaire par une tuyauterie de faible diamètre.

La figure 2 montre la disposition du circuit primaire dans une enceinte métallique étanche (hauteur 22 m, diamètre 16 m) qui résiste à la surpression qu'engendrerait la rupture de la plus grosse tuyauterie primaire. Cette enceinte est elle-même incluse dans un bâtiment en béton, réalisant la protection voulue contre les agressions extérieures et contenant divers locaux (pour les circuits auxiliaires du réacteur, le contrôle, etc...). L'"oeuf" métallique est suffisamment compact pour que sa construction en usine et son transport sur le site puissent être envisagés dans des cas favorables. Des propositions de Centrales sur barges ont même été faites par les Chantiers de l'Atlantique.

4 - AUTRES INNOVATIONS -

Une innovation fondamentale concerne le coeur et son contrôle (voir figure 3).

Le combustible est constitué de plaques parallèles soudées à des barrettes transversales. Chaque plaque est composée de plaquettes d'oxyde d'uranium fritté, légèrement enrichi, de forme parallélépipédique et de faible épaisseur ($e = 4$ mm). Ces pastilles sont isolées les unes des autres par des intercalaires en zircaloy qui, après soudage, constituent avec le gainage principal, des alvéoles indépendants.

Ce combustible, dit CARAMEL, se caractérise par deux points essentiels : Il est froid et compartimenté. L'ensemble possède de bonnes caractéristiques de tenue aux cyclages de température et de puissance et, en cas de rupture, la libération de produits de fission est réduite. On garantit ainsi une activité faible du circuit primaire, garantie prouvée par de nombreux essais d'irradiation.

.../...

Le contrôle du réacteur est assuré principalement par des croix absorbantes, coulisant entre des boîtiers en zircaloy contenant chacun deux faisceaux de plaques. Des poisons consommables sont incorporés au combustible ou aux structures pour réduire la plage de réactivité à contrôler.

Dans la CAS 2G il n'est pas fait appel à un poison soluble tel que l'acide borique. Dans la CAS 3G, en revanche, la compensation de l'effet d'usure est assurée par un tel poison, mais les suivis de charge sont réalisés à l'aide de moyens purement mécaniques.

5 - L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT -

Nous considérerons surtout ici le cas qui intéresse notre pays : celui des applications des réacteurs CAS à la production de chaleur industrielle ou urbaine avec éventuellement une petite production d'électricité faite par contrepression pour les besoins propres du réacteur et de ses annexes.

Il est évident que les très faibles besoins en eau d'un tel système (il y a très peu de rejets thermiques non désirés dans le milieu ambiant) facilitent le choix du site. Par ailleurs, les innovations présentées permettent de réduire considérablement le volume des effluents, chimiques ou radioactifs. Les rejets, après traitement dans les installations annexes du réacteur ne nécessitent qu'un faible débit de dilution et sont d'une intensité très limitée. L'analyse des accidents envisageables conduit également à des conclusions satisfaisantes au plan de la protection de l'environnement ; l'accident enveloppe pris comme accident de dimensionnement conduit, à 100 m du réacteur à des doses d'irradiation très faibles et tout à fait tolérables. Ceci s'explique par le niveau de puissance de l'installation, la petitesse des tuyauteries capables de se rompre, la cinétique de dépressurisation, la qualité du confinement, les caractéristiques du combustible, etc...

.../...

6 - SYNTHESE ET CONCLUSIONS -

Les Chaudières Avancées de Série réunissent un ensemble de solutions techniques qui devraient ouvrir à ces produits un marché intéressant. La démonstration en vraie grandeur de leurs qualités diverses, et notamment de leur disponibilité (estimée actuellement à 85 % grâce à un temps d'arrêt limité pour décharger le combustible) et de leur souplesse d'emploi, rend souhaitable le lancement rapide d'une tête de série. Les études économiques montrent que la compétitivité du réacteur, par exemple pour l'alimentation de certains complexes chimiques est acceptable. Les conditions de financement consenties jouent naturellement un rôle important dans la comparaison que l'on peut faire entre les diverses sources d'énergie disponibles. Mais chacun est sans doute convaincu ici des avantages au plan national (tant au plan de l'indépendance énergétique que de l'emploi) que l'on peut retirer de la prise en charge par la nation de ses problèmes d'approvisionnement énergétique.

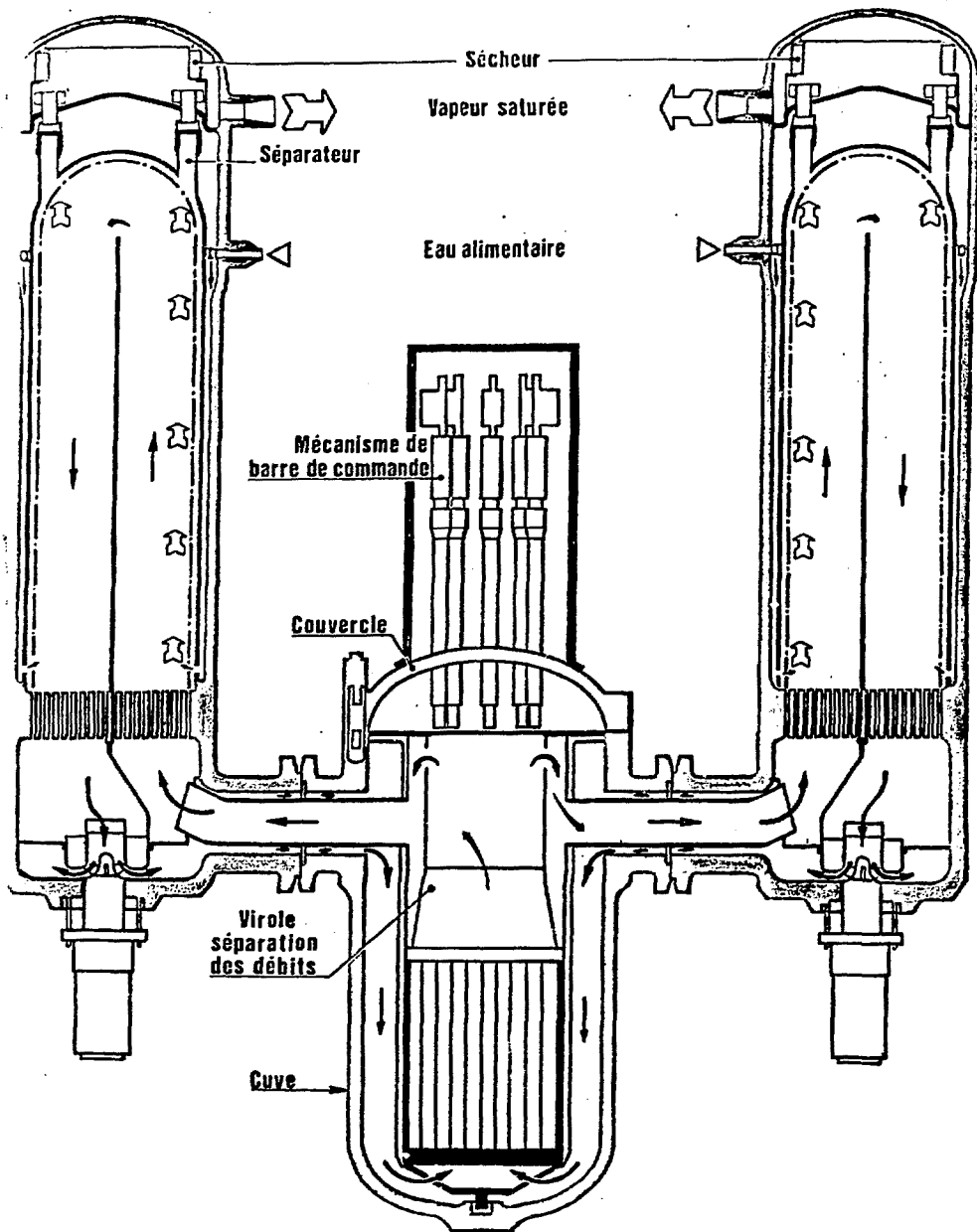
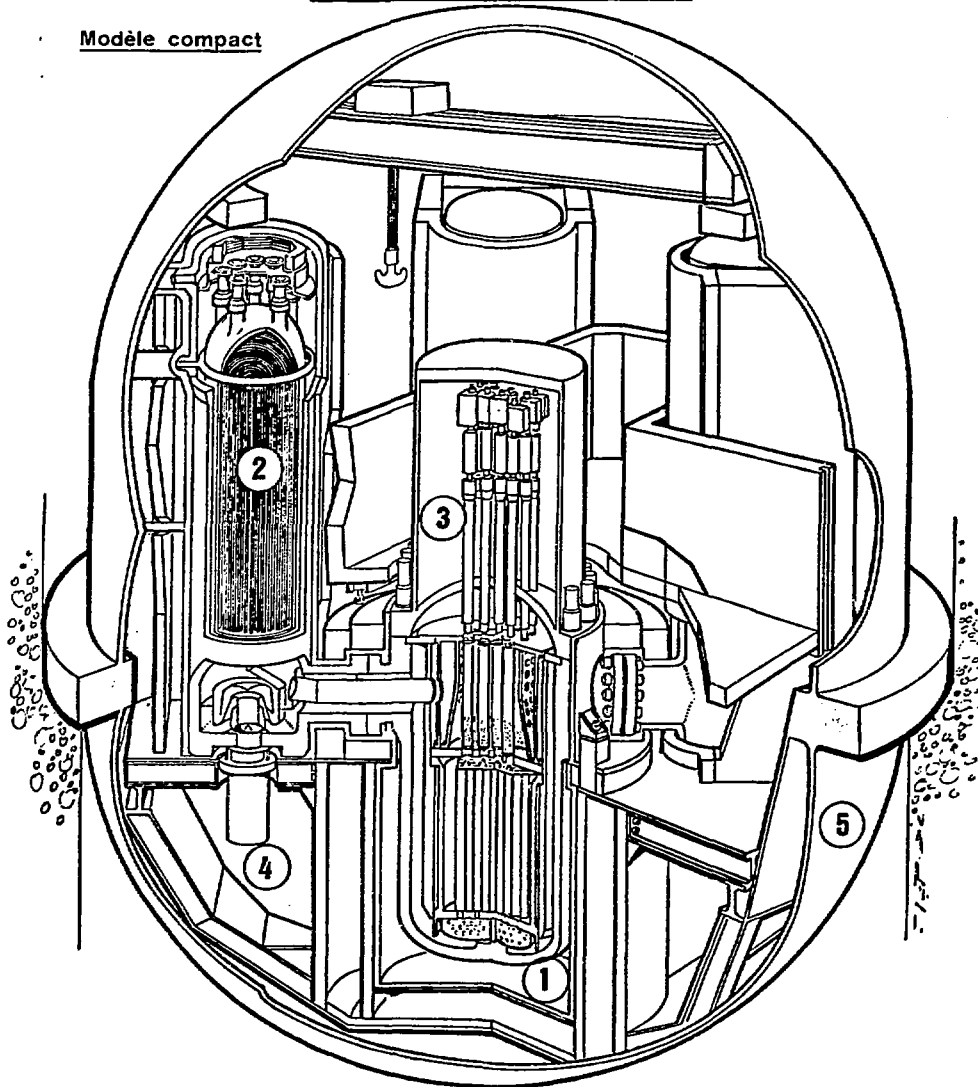


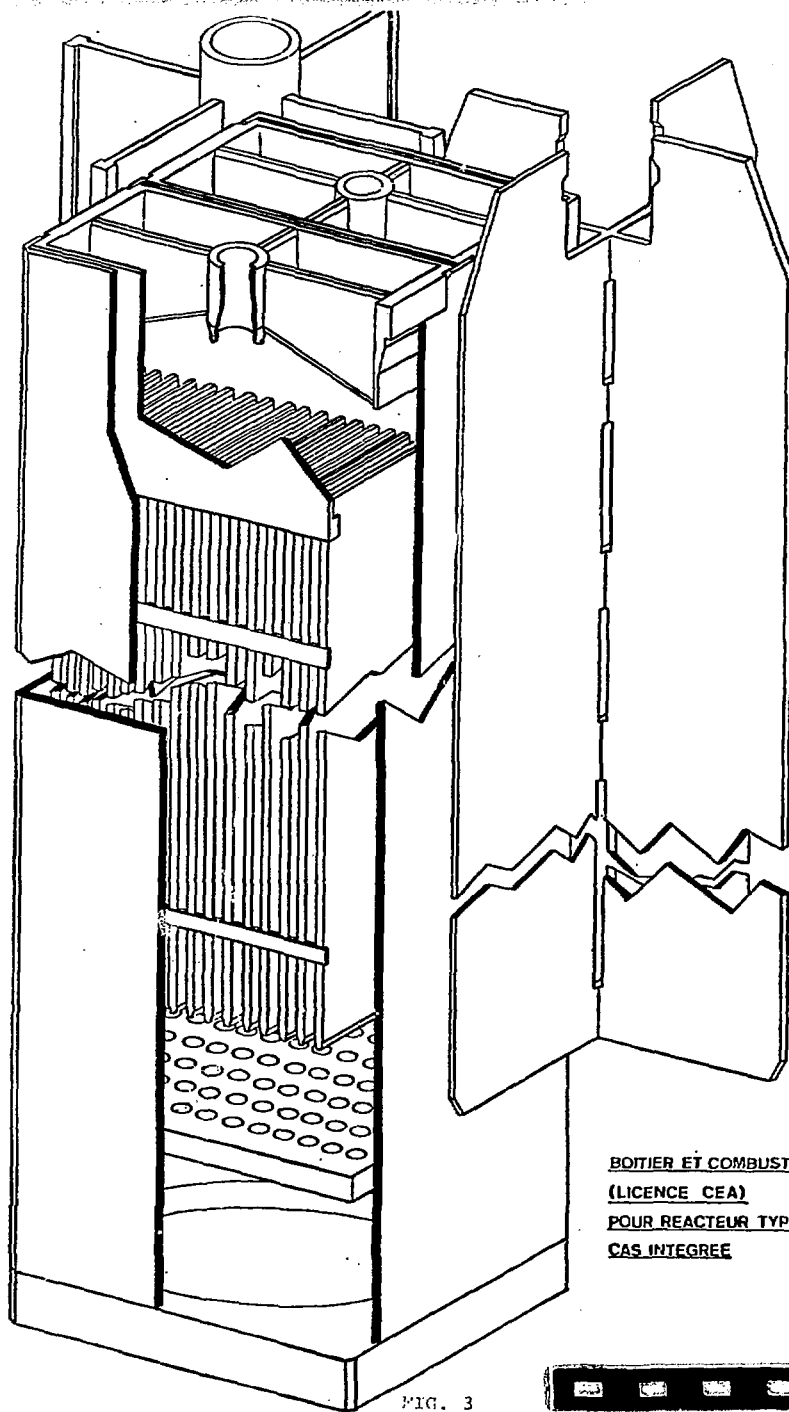
schéma de circulation des fluides

Modèle compact



- 1 CUVE RÉACTEUR**
- 2 GÉNÉRATEUR DE VAPEUR**
- 3 MÉCANISME DE BARRES DE COMMANDE**
- 4 POMPE**
- 5 ENCEINTE DE CONFINEMENT**

FIG. 2



BOITIER ET COMBUSTIBLE
(LICENCE CEA)
POUR REACTEUR TYPE:
CAS INTEGREE