The 1500 MW Fast Breeder Reactor the Double Envelope-Vessel Anchored in Concrete
(Réacteur à neutrons rapides 1500 MWe cuve de sécurité ancrée dans le béton)

M. Bolvin
Electricité de France, SEPTEN, Tour EDF-GDF,
F-92080 Paris la Défense, Cédex 8, France

ABSTRACT

This paper givers an account of EDF investigations to reduce the investment costs of the 1500 MW Fast Reactor (RNR 1500) without prejudice to the safety requirements. It deals with the double envelope-vessel, designed to minimize radiation consequences in the event of accidental leakage in the main vessel.

In the Fast Reactors in operation (PHOENIX), under construction (CREYS-MALVILLE), and under project (RNR 1500), the double envelope-steel vessel hangs down from the upper part of the reactor block, its weight being approximately 300 t.

In the new design, the vessel is fixed into the concrete which supports the main vessel, by means of steel anchors. A thermal insulation isolates it from the main vessel. The installation of coils in the concrete, next to the lining, allows for water circulation to cool the concrete.

EDF has undertaken an investigation and testing program, the results of which will be developed in the course of 1981, including :

1) fine thermal and mechanical calculations for the anchorage and cooling systems, checked on small models,
2) testing of the sodium-concrete reaction propagation under the liner whenever a small defect occurs.

A full scale of the behaviour of a steel and concrete pannel is planned for 1982, simulating actual leakage conditions.

The present paper gives an account of the investigations and a description of EDF new design for the double-envelope vessel.

1. GENERALITES

Dans la conception française, le circuit de sodium primaire d'un réacteur à neutrons rapides est contenu dans une cuve métallique appelée "cuve principale".

Celle-ci est placée à l'intérieur d'une structure en béton : "Puits de cuve" au sommet de laquelle elle est suspendue par l'intermédiaire de la "dalle-support".

Dans la centrale de CREYS-MALVILLE et dans l'avant-projet 1 500 MWe, une deuxième cuve métallique "Cuve de sécurité", également suspendue est destinée à retenir le sodium en cas de fuite de la cuve principale. Le béton du puits de cuve est protégé thermiquement par une couche de calorifuge et un circuit de refroidissement soudé sur une peau métallique mince (environ 8 mm) tapissant la face interne.

Cette peau n'a pas de fonction d'étanchéité.

La variante exposée, consiste à imposer une fonction d'étanchéité à la peau métallique tapissant le puits de cuve.

Ceci permet de supprimer la deuxième cuve suspendue, le rôle de cuve de sécurité étant rempli par la peau d'étanchéité dont l'épaisseur reste du même ordre que dans les solutions classiques.

Dans cette configuration, le sodium se répand à l'intérieur du puits de cuve en cas de fuite de la cuve principale, ce qui modifie la conception et le comportement de la paroi.

La première incidence est d'ordre géométrique : afin de limiter la baisse du niveau de sodium dans la cuve principale en cas de fuite, la face interne du puits de cuve ne peut plus être simplement cylindrique mais doit épouser la forme de la cuve principale, comme le faisait la cuve de sécurité.

La deuxième incidence concerne la conception de la protection thermique du puits de cuve et le comportement de celui-ci aux régimes thermiques auxquels il est soumis, ceux-ci étant plus sévères que dans les solutions classiques.

Les études engagées par EDF comprennent :

a) une définition géométrique de la peau, de son système et du système de refroidissement,
b) une étude mécanique de l'ensemble de la structure du puits de cuve pour un certain nombre de régimes thermiques,
c) une étude thermique de la partie cylindrique courante de la paroi du puits de cuve,
d) des études de tenue de matériaux, des caractéristiques mécaniques du béton et des ancrages dans leurs conditions d'utilisation,
e) des essais de réaction sodium-béton, dans le cas improbable de fuite de la cuve principale avec perte d'étanchéité de la peau ancrée.

2. DEFINITION GEOMETRIQUE DE LA PEAU (voir figure)

La peau d'étanchéité en acier doux, d'épaisseur 8 mm est ancrée à l'aide :

- d'un système de raidisseurs verticaux et horizontaux définissant des panneaux de 400 x 900 mm,
- d'un réseau carré de goujons de pas 100 mm, situés à l'intérieur des panneaux précédents,
- de tubes de refroidissement horizontaux (Ø 26,9 e = 2,9 ; norme NFA 49-112) alimentés en parallèle, chaque circuit élémentaire formant une cerce ou une demi cerce parallèle à la peau. Ces circuits sont doublés,

- un calorifuge métallique qui recouvre la face interne de la peau. C'est un calorifuge en feuilles d'acier inoxydable mince qui stoppe les rayonnements et la convection.

Ces dispositions ont été choisies en fonction de l'expérience antérieure de peau chaude acquises sur les caissons de la filière graphite-gaz et BWR. Elles peuvent être modifiées, suivant les expériences complémentaires ultérieures.

3. ETUDES THERMIQUE ET MECANIQUE DE L'ENSEMBLE DU PUITS DE CUVE

Les températures dans les différents cas de fonctionnement, les sollicitations et les aciers passifs qui en résultent ont été calculés sur un modèle axisymétrique aux éléments finis comportant la dalle de cuve, l'anneau support en béton armé et une partie du radier supérieur du bâtiment réacteur. Ces calculs ont tenu compte de la fissuration du béton et des variations des caractéristiques du béton en fonction de la température (loi d'évolution : DTU incendie).

Malgré les niveaux importants de température atteints en face interne, en cas de fuite de cuve principale, les contraintes atteintes par le béton et les aciers (densité environ 200 kg/m^3) demeurent raisonnables.

La fissuration est assez développée mais l'ouverture des fissures (0,2 mm) ne fait pas craindre une corrosion des aciers.

4. ETUDE THERMIQUE DE LA PARTIE COURANTE

La répartition des températures dans une section radiale de la paroi cylindrique courante a été calculée à l'aide d'un programme bidimensionnel aux éléments finis.

Les températures aux noeuds du modèle ont été calculées :

- en régime permanent pour les cas de fonctionnement normal d'incident ou d'arrêt,
- en régime transitoire pour la fuite de sodium, pendant 150 heures.

12 cas ont été étudiés, pour différents paramètres variables : avec et sans calorifuge, espacement des tubes 100 mm et 150 mm, et leur distance à la peau.

Ces calculs ont montré que l'optimum d'écartement et de distance à la peau des tubes était de 100 mm, qu'un béton calorifuge n'a pas grand intérêt et que l'on peut refroidir correctement sans faire bouillir l'eau (90 °C) avec une vitesse acceptable de circulation : 1 m/s.

La réalisation de ces calculs a été confiée à la société d'Etudes et d'Equipement d'Entreprises.

5. MESURE DES PROPRIETES DES MATERIAUX

5.1 - Béton

EDF a confié au Laboratoire des Bétons et Revêtements de SACLAY (CEA) des essais de mesures thermique et mécanique sur un béton identique à celui de CREYS-MALVILLE.

Des cyclages thermiques simulant le fonctionnement du réacteur ainsi qu'une évolution en température correspondant à une fuite de sodium de la cuve principale ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques normalisées avant mesure.

Les essais ont été réalisés conformément aux normes françaises (NF).

Les résultats obtenus sont cohérents ; leurs moyennes sont reproduites ci-après :

MESURE	ESSAI	RESULTAT
Résistance à la traction	Essai par fendage	1,52 MPa
Résistance à la compression	NF 18 406	20 MPa
Module d'élasticité	Mesure extensiométrique	préchargement : Eo = 2840 MPa chargement après cyclage } Ep = 4560 MPa
Coefficient d'expansion thermique	Dilatomètre différentiel à poussoir de silice	5,9 à 7,1 10^{-6}

La diminution importante des résistances et des modules d'élasticité concordent avec les spécifications relatives à la tenue au feu (DTU). La diminution du module d'élasticité est intéressante dans le concept peau chaude, car elle réduit les poussées thermiques sur l'extérieur de l'anneau du puits de cuve.

5.2 - Peau et ancrages

Par suite de sa montée en température, la peau se trouve en compression. En fonctionnement normal, le calorifuge intérieur limite la température de la peau à 100 °C et celle-ci reste dans le domaine élastique. En cas d'accident de rupture de cuve principale, le calorifuge devient inopérant et la température de la peau monte d'abord à 400 °C puis à 540 °C et se trouve dans le domaine plastique. Les échauffements non uniformes induisent des déséquilibres latéraux repris par les convecteurs et les ancrages continus. Ces derniers sont déterminés pour qu'une défaillance locale d'un ancrage, entraînant un cloquage de la peau reste localisée.

Des essais ont été confiés à la société NEYRPIC à GRENOBLE, dont les objectifs sont :

a) de déterminer la relation compression-température en dilatation génée de l'acier A42, à l'aide d'une éprouvette encastrée, chauffée, munie d'un dynamomètre.

b) de déterminer la raideur des appuis continus ainsi que les déplacements limites qui peuvent être autorisés, dans les conditions de fonctionnement normal 100 °C et d'accident (400 °C ; 540 °C). Un dispositif d'essai reproduit un ancrage continu de 500 mm de long, avec son environnement immédiat, les températures de fonctionnement. Un vérin hydraulique permet d'exercer des efforts jusqu'à 60 t et des glissements d'ancrage jusqu'à 60 mm. Les résultats sont comparés à des calculs thermiques et mécaniques aux éléments finis, représentant les détails de l'ancrage.

6. REACTION SODIUM-BETON

Au cours de la mise en oeuvre, nous prévoyons un contrôle sévère notamment par radiographie des soudures, pour écarter toute défaillance de l'étanchéité. Les conséquences d'un tel défaut n'étant pas connues, EDF a demandé au Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache de développer un programme d'étude expérimentale de la réaction sodium-béton à travers une fissure de la peau métallique.

Les paramètres suivants susceptibles d'avoir une influence notable sur le phénomène sont étudiés :

- la taille de la fissure (la fissure d'essai est environ 1 x 20 mm),
- la position de la fissure (paroi verticale ou horizontale),
- la température du béton lors de la mise en contact sodium-béton,
- le drainage de la vapeur d'eau libérée par le béton.

L'éprouvette est un cube de béton chemisé d'acier représentant localement l'ancrage. La fissure est au milieu de la face représentant la peau de 8 mm. Elle est placée à l'intérieur d'une cuve de 22 m^3 conditionnée sous azote. L'essai débute par déversement du sodium à 550 °C sur la peau métallique, la réaction peut être étudiée pendant 18 h. Les températures à différents niveaux du béton, du sodium, des gaz et des parois sont mesurées afin de faire un bilan thermique.

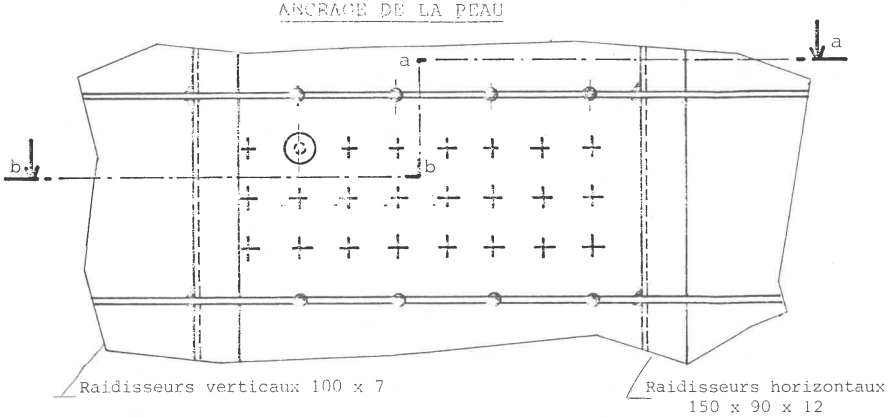
Des prélèvements de gaz en continu permettent le suivi de la teneur en hydrogène, gaz carbonique, oxygène. Après l'essai des échantillons de produits de réaction sont prélevés et soumis à des analyses physico-chimiques.

7. CONCLUSIONS

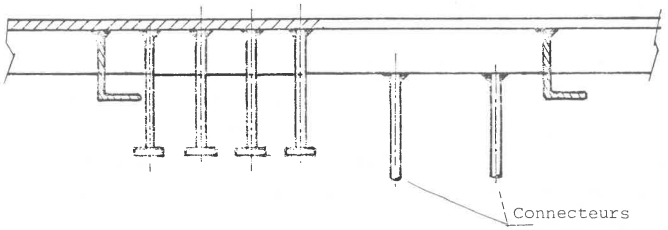
Les études précédemment mentionnées permettent d'établir un bilan technique d'ensemble de cette solution. Les résultats actuels nous permettent de la présenter de façon prometteuse tant sous l'aspect sûreté que sous l'aspect économique.

Si cette solution est retenue définitivement dans le projet, EDF prévoit la réalisation d'une maquette grandeur nature, représentant un panneau important afin de valider le comportement d'ensemble.

ANCRAGE DE LA PEAU

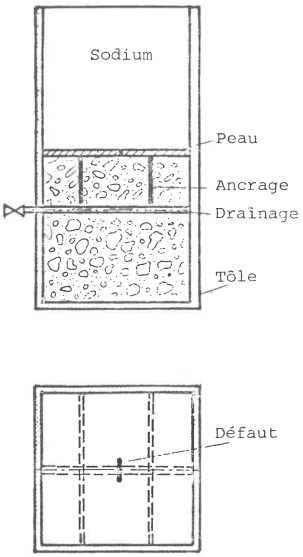
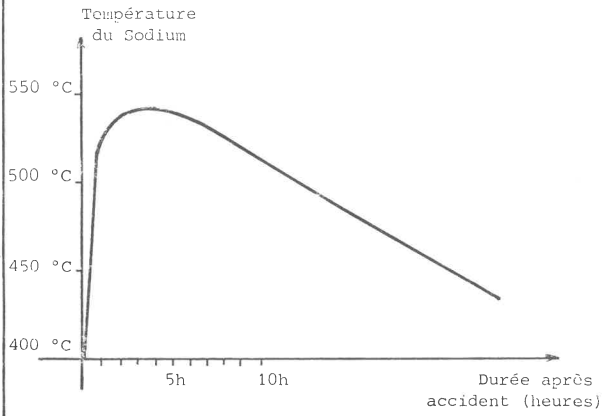


COUPE a b



REACTION SODIUM-BETON

EPROUVETTE



RNR 1500 FUITE DE LA CUVE PRINCIPALE