

Le Contrôle-Commande

Par M. DEBRU*

On ne cherchera pas, ici, à faire une description complète des installations de contrôle du RHF. On s'efforcera plutôt de faire ressortir les problèmes particuliers qui ont présidé à la définition du contrôle et les principes adoptés. On ne fait que citer un certain nombre d'installations désormais classiques sur les réacteurs (DRG, mesures thermodynamiques, radioprotection, etc.) et on limite la description du matériel à quelques figures. La description détaillée en est donnée dans la référence [1].

La définition du contrôle du RHF a été dominée par les caractéristiques thermodynamiques poussées de ce réacteur, par les exigences de qualité du flux neutronique et de continuité de fonctionnement. L'effort du constructeur a donc consisté à satisfaire ces exigences dans les meilleures conditions de sécurité et de facilité d'exploitation.

I. CONTROLE DU PHENOMENE THERMODYNAMIQUE

Les principaux paramètres thermodynamiques du RHF sont rappelés dans l'article sur les aspects neutroniques et thermiques (troisième article dans ce numéro). Le plus important du point de vue du contrôle est la marge qui existe entre le phénomène dangereux, la redistribution de débit, et la puissance de fonctionnement. Une marge de 1,6 est prévue en régime nominal. Cependant, le contrôle a été étudié pour permettre un fonctionnement avec une marge de 1,25 seulement.

On a vu dans l'article déjà cité ci-dessus que le phénomène dangereux pouvait être assimilé au début de l'ébullition locale. Il aurait été logique de faire reposer la sécurité sur la surveillance de la température à la sortie du cœur. Malheureusement, cette mesure constitue la principale difficulté de contrôle du RHF du point de vue thermodynamique : les détecteurs ne peuvent être implantés qu'à la sortie du bloc pile, ce qui a deux conséquences : le temps de réponse de la mesure est grevé du temps de transit de l'eau dans le réflecteur et il est impossible d'individualiser les différents canaux de refroidissement. Seule une température moyenne peut être obtenue.

Ceci joue aussi sur le pilotage (recalage thermique de la mesure de flux). L'évaluation de la marge thermique a donc conduit à définir une puissance limite P_L tenant compte de toutes les incertitudes technologiques pouvant créer un canal chaud.

On compare V_R , puissance obtenue par la mesure du flux neutronique recalée par la puissance thermique, à P_L . Deux seuils A et C sont associés à cette comparaison :

$$\frac{V_R}{P_L} > A \text{ entraîne la baisse de puissance contrôlée}$$

$$\frac{V_R}{P_L} > C \text{ entraîne la chute des barres de sécurité;}$$

P_L a été défini à partir des conditions de refroidisse-

*Institut Von Laue-Langevin - Grenoble.

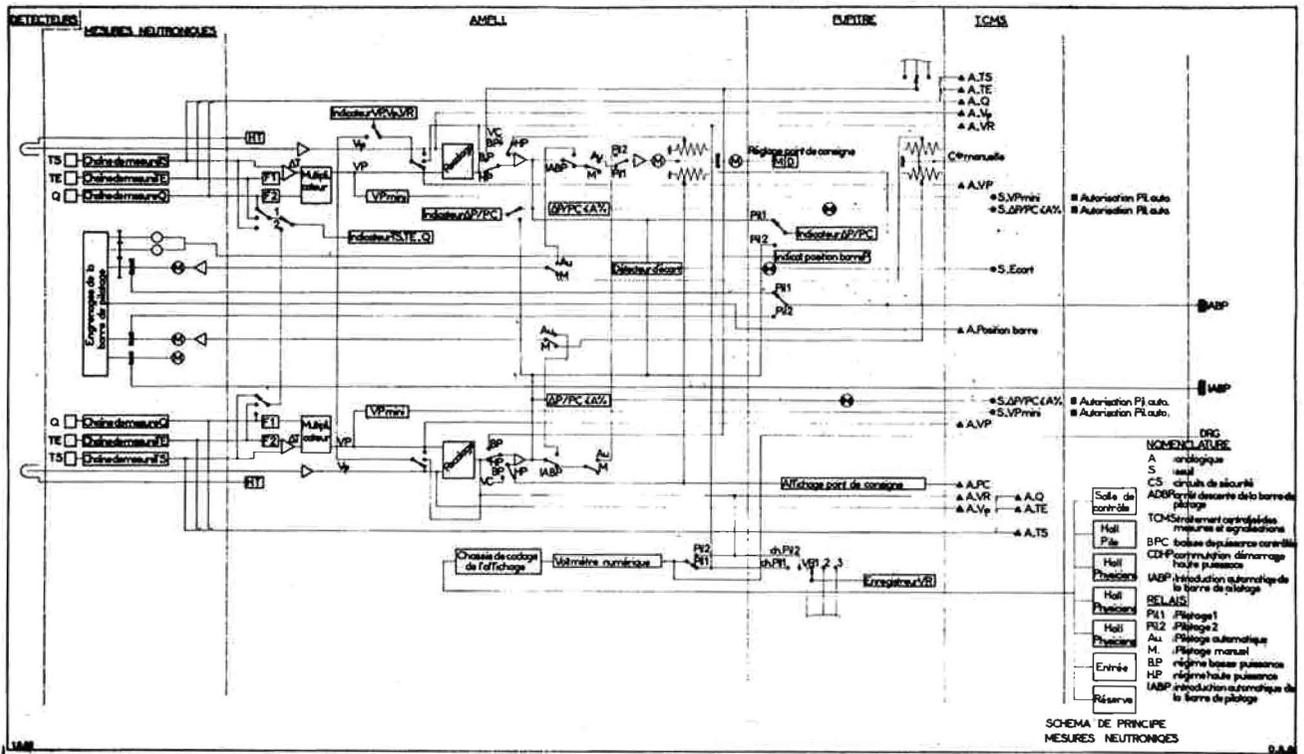


Fig. 2. — Schéma de principe - Mesures neutroniques

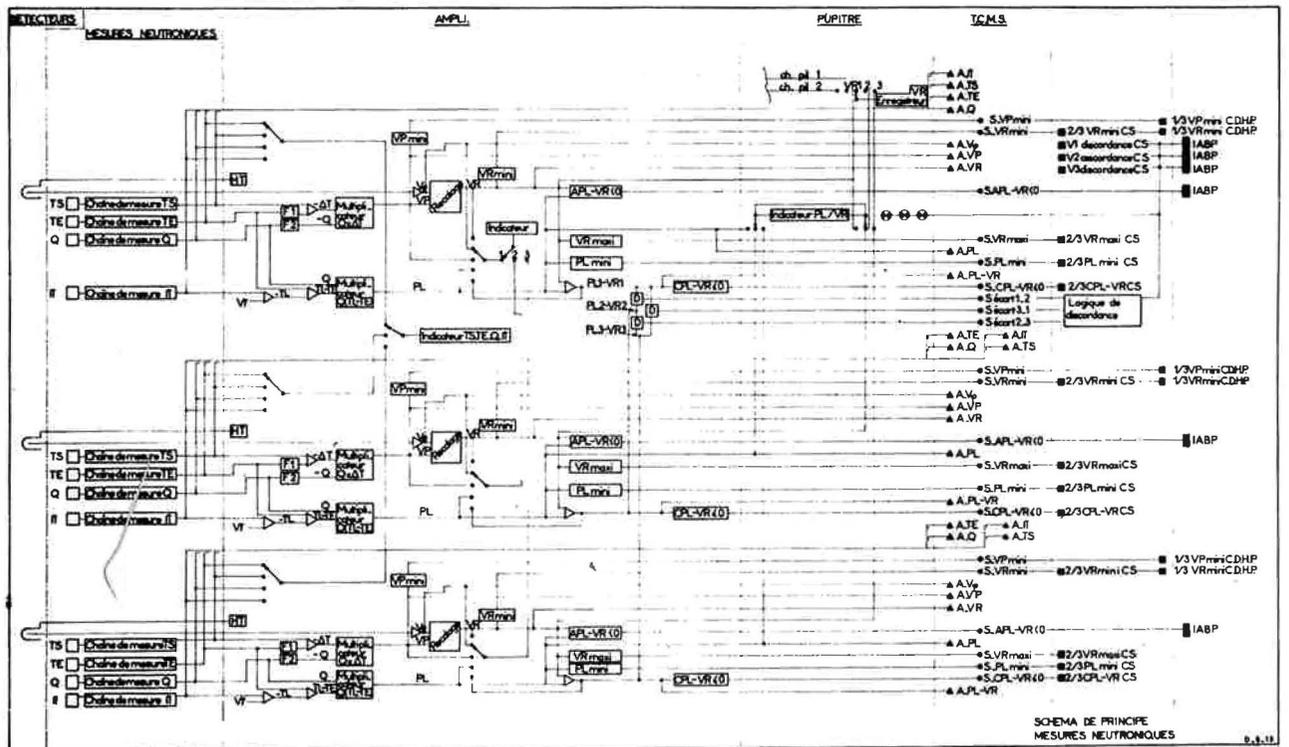


Fig. 3. — Schéma de principe - Mesures neutroniques

C. Effet Xénon et continuité de fonctionnement :

Le flux thermique moyen cœur très important, $2,6 \cdot 10^{14}$ n/cm² s, pose le problème de l'effet Xénon. Le temps dont on dispose pour redémarrer après une baisse de puissance dépend du taux de combustion et du niveau de puissance atteint [4]. Il diminue, en particulier, très vite avec le niveau atteint (14 mn en fin de cycle si on descend en dessous de 0,1 Pn). On s'est donc efforcé de permettre le redémarrage le plus rapide possible et surtout de réduire au minimum les chutes de barres intempestives.

La vitesse de remontée des barres de sécurité a été choisie la plus grande possible, compte tenu des impératifs de sécurité. Les deux premières barres de sécurité peuvent être montées simultanément. Il est ainsi possible, théoriquement, de remonter les cinq barres de sécurité en moins de 10 mn, ce qui correspond à une introduction de 60 pcm/s en moyenne. Ceci se passe en régime sous-critique. Le retrait de la barre centrale correspond à une introduction de 50 pcm/s en moyenne.

Le meilleur moyen d'échapper aux inconvénients de l'effet Xénon reste évidemment d'éviter les chutes de barres. Il s'agit là d'un problème qui touche aussi bien l'organisation générale du système de sécurité que les détails de réalisation. On ne s'attardera pas sur les solutions classiques comme le principe du 2/3 ou l'alimentation secourue totale pour tous les circuits du système de sécurité, bien que, pour le RHF, le souci ait été poussé jusqu'à prévoir trois alimentations pour les chaînes du 2/3. On soulignera, plutôt, les points originaux du RHF sur ce problème, en particulier la suppression de cas de chutes de barres classiques.

La liste des sécurités retenues est donnée par le schéma logique des circuits de sécurité (Figure 4). On peut remarquer qu'on a, parfois, remplacé plusieurs seuils sur des paramètres primaires par un seuil unique. Par exemple, pas de sécurités sur le débit primaire, sur la pression de fonctionnement ou les températures d'entrée et de sortie du cœur pour se protéger contre la redistribution de débit. On utilise la puissance limite P_L , comme on l'a vu plus haut. En cas d'incident sur les conditions de refroidissement, on commence d'ailleurs par une baisse de puissance contrôlée, seuil A. On a montré que cette parade était suffisante en cas de panne de secteur momentanée, compte tenu des caractéristiques des pompes primaires et du pilotage [5]. On ne chute les barres qu'après franchissement du seuil C qui peut être choisi de façon plus exacte que n'auraient pu l'être les seuils sur chaque paramètre, puisqu'ils auraient du tenir compte de la possibilité du franchissement simultané de tous les seuils. On a montré, par ailleurs, que ce système présentait une fiabilité comparable à celle des systèmes classiques moyennant certaines précautions. Les sécurités existants sur π et T_E sont liées à des

accidents éventuels sur les circuits ou bloc-pile et non à la protection thermodynamique du cœur en fonctionnement normal. Dans le même esprit sur les mesures neutroniques, il n'a pas été prévu de sécurités période positive et négative pour le régime haute puissance, car ces sécurités ne paraissaient pas utiles, compte tenu des caractéristiques cinétiques du réacteur.

D. Caractéristiques cinétiques du RHF :

Le comportement transitoire du RHF a été étudié de façon théorique au cours de l'avant-projet [6]. Il est

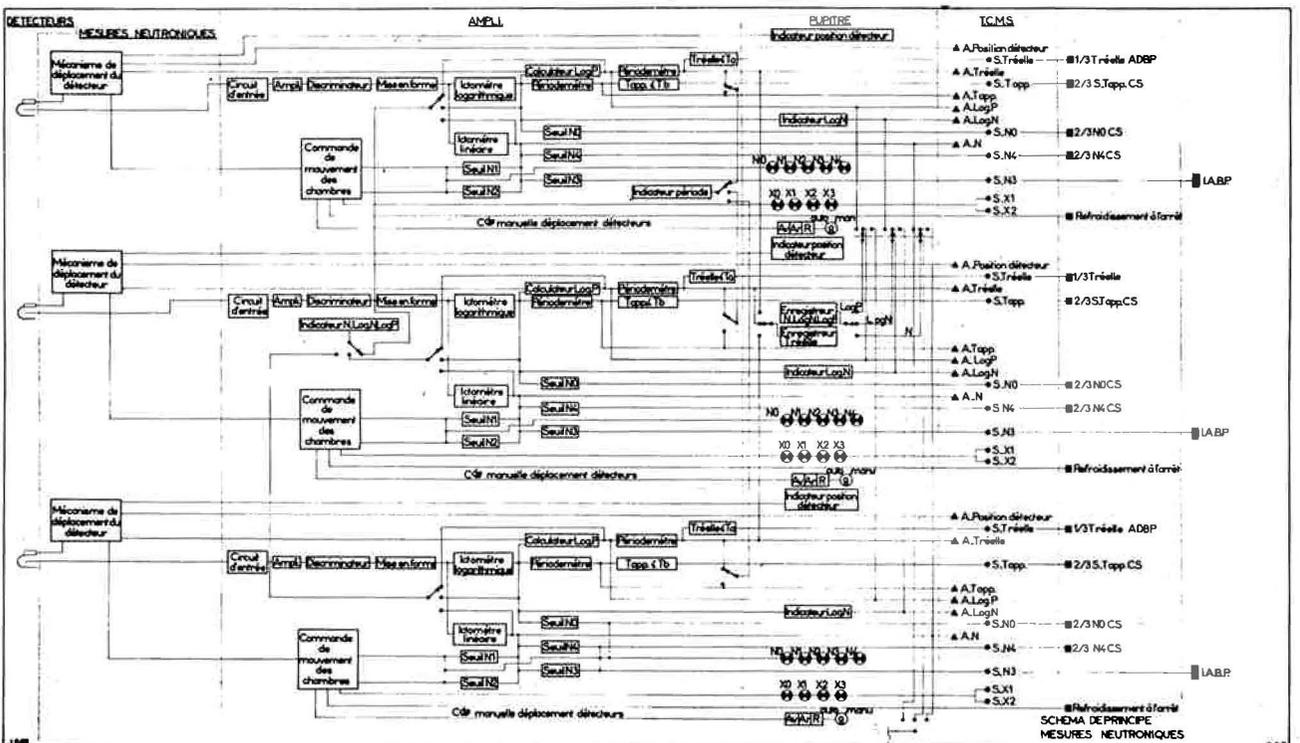


Fig. 4 - Schéma de principe - Mesures neutroniques

gouverné essentiellement par le long temps de vie des neutrons prompts (885 μ s), caractéristique des réacteurs à eau lourde, et le faible coefficient de vide du cœur.

On doit donc attendre un comportement intrinsèque médiocre vis-à-vis des incidents de réactivité. La sécurité du RHF repose sur l'efficacité du système de sécurité. Par contre, le long temps de vie des neutrons prompts rend les transitoires relativement lents. Ceci a permis de placer les barres de sécurité hors flux tout en conservant au départ une accélération raisonnable de 4 g. De plus, comme on l'a vu, on a pu supprimer les sécurités "période" en régime haute puissance.

III. REGIMES DE FONCTIONNEMENT

A. Régime haute puissance :

Ce régime correspond, avant tout, à la puissance nominale, avec les conditions de pilotage sur le flux neutronique et la puissance thermique vues précédemment. Le point de consigne pourra être réglé entre 0,1 P_n et P_n. Les conditions de refroidissement devant être nominales, en règle générale. Toutefois, il sera possible de fonctionner avec une seule pompe primaire. Les sécurités particulières à ce régime sont :

$$CP_L - V_R < 0, V_R \text{ max}, P_L \text{ min.}$$

B. Régime très basse puissance :

Ce régime couvre la gamme 10⁻³ P_n à 10⁻⁵ P_n. Le système de pilotage permet le contrôle à flux constant pour ce régime. Le refroidissement est assuré par le système de refroidissement à l'arrêt.

C. Changement de régime :

1. Démarrage du réacteur :

Les conditions de refroidissement sont celles du régime que l'on veut atteindre. Si on veut atteindre le régime basse puissance, le réacteur est amené à divergence, puis piloté en utilisant les chaînes de démarrage. Les sécurités sont : niveau maximal du flux et limitation du recul des chambres mobiles, période.

Pour atteindre le régime haute puissance, la montée a lieu en deux temps. Dans le premier temps, le système de démarrage assure la conduite du réacteur. Vers 0,2 P_n, le système haute puissance prend le relais et le réacteur est amené à la puissance nominale par déplacement du point de consigne. Le recouvrement des deux systèmes, du point de vue de la sécurité est assuré.

2. Baisse de puissance contrôlée :

On a vu la nécessité de ce régime pour la continuité de fonctionnement du réacteur. Le système haute puis-

sance est donc conçu pour que $\frac{P_L}{V_R}$ soit maintenu supé-

rieur à 1,25 pendant le régime transitoire. A la fin de celui-ci, la puissance est maintenue constante. Le retour à la puissance nominale, lorsque les conditions normales sont rétablies, doit s'effectuer en manuel.

3. Arrêt d'urgence :

L'arrêt d'urgence est réalisé par la chute des barres de sécurité commandée par le système de sécurité ou manuellement.

IV. PRINCIPES D'EXPLOITATION ET D'ORGANISATION GENERALE DU CONTROLE

A. Implantation :

Le contrôle du RHF est centralisé. Tout ce qui est nécessaire au contrôle d'un ensemble est regroupé avec celui des autres ensembles dans des salles spécialisées (salle de contrôle, salle de relayage, etc.). Cependant, la décentralisation n'est pas exclue sous certaines conditions. Par exemple, pour la Radioprotection, toutes les voies qui n'ont pas d'action d'automatisme ou de sécurité sont décentralisées.

Tout équipement est, en principe, centralisé. Toutefois, peuvent être décentralisés les équipements relatifs à des auxiliaires de petite puissance (jusqu'à environ 10 CV) d'un même ensemble, s'ils sont en quantité suffisante.

Une commande peut être à la fois centralisée et décentralisée. Le transfert de l'une à l'autre s'effectue par déplacement d'une clef de déverrouillage. Sur les ensembles principaux (circuits par exemple), les commandes centralisées consistent en des séquences d'automatismes complètes prenant en compte tous les cas de fonctionnement.

Les mesures destinées à la conduite du réacteur ou au réglage d'un paramètre sont associées aux commandes correspondantes de façon qu'un seul opérateur soit nécessaire. Les signalisations peuvent être implantées, soit dans la salle de contrôle, soit sur des panneaux locaux. Toutes celles qui sont indispensables à la conduite du réacteur sont implantées en salle de contrôle.

B. Présentation des informations en salle de contrôle :

Les informations parvenant en salle de contrôle sont hiérarchisées :

- en informations indispensables à la conduite du réacteur,
- en informations secondaires qu'il n'est pas nécessaire

de connaître, ni immédiatement, ni de façon permanente.

Les premières sont présentées de façon classique, Une partie des autres sera confiée à une machine de traitement centralisé. Naturellement, les données présentées sous forme classique peuvent être également introduites dans le calculateur.

Rôle du T.C.M.S. (Traitement Centralisé des Mesures et Signaux :

Il remplit les fonctions suivantes :

- Présentation en clair des grandeurs analogiques,
- Présentation en clair des variations des états logiques,
- reconstitution des incidents,
- certains calculs : calculs classiques comme la mise à l'échelle, la linéarisation, l'élaboration des seuils et des discordances ; calculs apportant des facilités d'exploitation comme par exemple des calculs statistiques (doses intégrées en radioprotection).

V. ALIMENTATION ELECTRIQUE

Les sources d'alimentation de puissance peuvent être classées de la façon suivante :

- *Alimentation normale :*

L'alimentation normale est celle provenant directement du réseau EDF. Elle est donc soumise aux variations de tension ou de fréquence et aux coupures occasionnelles propres à ce réseau.

- *Alimentation de sécurité :*

C'est une alimentation rigoureusement sans coupure provenant d'un générateur indépendant, interne au réacteur (batteries). C'est le cas pour l'alimentation 48 V 220 V contrôle, 220 V calculateur et 380 V des pompes de refroidissement à l'arrêt.

- *Alimentation de secours :*

Alimentation provenant du secteur EDF mais reprise en secours Diesel en cas de défaillance de celui-ci.

Le principe de la distribution avec les puissances installées est donné dans les figures 5 et 6.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Rapport de Sécurité du Réacteur à Haut Flux, Chap. 12.
- [2] Avant-projet RHF, Chapitre 12.
- [3] Proj. 471/FUC/FP - Etude des systèmes de démarrage possibles pour le RHF.
- [4] Proj. 297-67/CAu/FP - Effet Xénon et possibilités neutroniques des régimes transitoires contrôlés.
- [5] Réacteur à Haut Flux - Etude du système de pilotage sur calculateur analogique.
- [6] Avant-projet, Chapitre 13.