

CEA CEN-SACLAY
Service de Documentation
Groupe "Traductions"
91191 GIF sur YVETTE CEDEX

FR 8803611
CEA-TR- 2279

R2

Cette traduction est fournie à titre bénévole et strictement réservée à l'usage privé du destinataire pour les besoins de sa documentation. Il ne peut la reproduire, ni la publier sans l'accord de l'auteur. La responsabilité du Commissariat à l'Energie Atomique ne saurait être engagée en cas de non respect des conditions ci-dessus définies.

CONSÉQUENCES D'UNE RUPTURE TOTALE DE LA SECTION
D'UN TUBE DE TRANSFERT DE CHALEUR D'UN GÉNÉRATEUR DE VAPEUR
AU COURS DES DIVERS SCÉNARIOS DE DÉVELOPPEMENT D'UN ACCIDENT

SMIRNOV M.V., TITOV V.F.,...

TRADUCTION DE : 16 pages
TRADUIT DU : russe en Janvier 1988
A PARTIR DU : séminaire franco-soviétique sur la sûreté des réacteurs rapides
OBINSK 1987

Traducteur : M. ZEMSKOFF

N° D'ENREGISTREMENT : 2.750.6

SMIRNOV M.V, TITOV V.F, POPLAVSKII V.M, BAKLUSHIN R.P.

**CONSEQUENCES D'UNE RUPTURE TOTALE DE LA SECTION D'UN TUBE DE
TRANSFERT DE CHALEUR D'UN GENERATEUR DE VAPEUR AU COURS DE
DIVERS SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT D'UN ACCIDENT**

URSS

Séminaire soviéto-français sur la sûreté des réacteurs rapides.

URSS, 1987.

Obninsk, 1987.

CONSEQUENCES D'UNE RUPTURE TOTALE DE LA SECTION D'UN TUBE DE
TRANSFERT DE CHALEUR D'UN GENERATEUR DE VAPEUR AU COURS DE
DIVERS SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT D'UN ACCIDENT

Smirnov M.V., Titov V.F., Poplavskii V.M., Baikulushin R.P.

(Bureau d'Etudes "Gidropress", Institut de Physique et d'Energétique du
Comité d'Etat à l'Utilisation de l'Energie Atomique de l'URSS)

R E S U M E

Dans ce document sont présentés les résultats de l'analyse théorique des séquences accidentelles se déroulant dans un générateur de vapeur modulaire à écoulement direct "sodium-eau" au cours d'une fuite maximale envisagée.

On examine les cas les plus probables de développement de la fuite d'eau (vapeur) dans le sodium en présence de défaillances dans le système d'arrêt d'urgence du générateur de vapeur.

On démontre l'accomplissement des conditions de sûreté pour la tranche dans tous les cas de figure examinés.

1. INTRODUCTION

A l'heure actuelle, on a accumulé une importante expérience dans l'exploitation des générateurs de vapeur "sodium-eau" de type divers, obtenu des données sur le développement des processus de fuite et d'interaction de sodium avec l'eau aussi bien sur des installations d'essais qu'au cours de l'exploitation des générateurs de vapeur équipant les centrales nucléaires de la filière rapide (EN-350, BN-600, PHENIX, PFR), développé des modèles mathématiques et des programmes pour le calcul de tels régimes et processus transitoires de l'exploitation.

Les résultats obtenus permettent de faire les conclusions suivantes :

- 1) Sur toutes les installations de puissance en service, équipées de réacteurs rapides, il n'a pas été possible d'éviter des fuites entre les circuits dans les générateurs de vapeur au stade initial de leur exploitation; cependant, on n'a pas observé de transgression des conditions de sûreté;
- 2) Le processus de réaction du sodium avec l'eau, dans des conditions de volumes restreints des générateurs de vapeur et du sodium en mouvement, ne porte pas un caractère détonant; il est contrôlé par des moyens de protection installés à demeure, aussi bien dans la partie de la localisation de la suite, de même que son confinement;
- 3) Afin de conserver le générateur de vapeur dans un état possible de réparabilité, il est indispensable d'assurer au système de protection, une rapidité d'action suffisante qui prend en compte le caractère du développement du processus de fuite dans les conditions d'une construction concrète et les régimes paramétriques du générateur de vapeur. On observe ainsi une liaison directe entre les conséquences de l'incident et l'expérience acquise par le personnel d'exploitation, les

conséquences les plus lourdes ayant été observées lors des toutes premières fuites entre les circuits sur des installations remises de nouveau en exploitation. Les conséquences d'une fuite entre les circuits de même que la réparabilité du générateur de vapeur sont déterminées en grande partie également par la stabilité à la corrosion des matériaux de structure, dans un milieu alcalin, au cours de la période post-accidentelle;

4) Les générateurs de vapeur du type modulaire assurent une haute fiabilité en fonctionnement, le nombre d'heure de fonctionnement des générateurs de vapeur de BN-600 en régime de puissance à la fin de 1985 ayant représenté 35.000 heures avec un taux moyen de disponibilité de 0,984.

Parallèlement à ce qui vient d'être explicité, il est indispensable de souligner que l'expérience acquise ne contient pas pour l'instant de données sur le caractère des dommages et leurs conséquences liées à une corrosion générale, la fatigue et les processus vibratoire dont l'apparition est possible en fin de vie de l'équipement. Aussi, un examen minutieux des conditions possibles d'apparition et de développement de fuite entre les circuits dans les générateurs de vapeur sodium, s'avère être un fait important pour assurer les conditions de sûreté de la centrale nucléaire équipée de réacteur BN, dans le but de choisir les solutions de projet exactes pour la construction des générateurs de vapeur et de leur système d'arrêt d'urgence.

On a examiné les conditions les moins défavorables d'apparition et de développement des processus dans les générateurs de vapeur du type modulaire lors d'une fuite entre les circuits d'eau (vapeur) dans le sodium.

2. PRINCIPAUX INDICES D'EFFICACITE DU SYSTEME D'ARRET D'URGENCE DU GV

Le développement des processus au cours d'une fuite entre les circuits est lié aux particularités constructives et au schéma du générateur de vapeur de même qu'aux caractéristiques de son système de protection. Toutefois, les principales exigences vis-à-vis de l'efficacité de l'arrêt d'urgence du GV s'avère être générales pour tous les types de générateurs de vapeur "sodium-eau".

Sur la base de l'expérience acquise dans la conception et l'exploitation des générateurs de vapeur, les indices d'efficacité du système d'arrêt d'urgence doivent être fractionnés en deux groupes, déterminant respectivement les conditions de sûreté et de fiabilité du générateur de vapeur (de l'installation).

Exigences déterminant les conditions de sûreté d'une installation nucléaire de puissance :

- 1) Protection du circuit secondaire contre une augmentation de la pression au-dessus d'un seuil admissible;
- 2) Protection du circuit secondaire contre une contamination par des produits de réaction jusqu'à un niveau entraînant une action corrosive importante sur les surfaces de transfert thermiques de l'échangeur et du GV;
- 3) Prévention contre un percement de part en part des modules et des tuyauteries.

Selon ce groupe d'indices, le critère de l'efficacité du système d'arrêt d'urgence du générateur de vapeur s'avère être la probabilité garantie

de leur réalisation (pour la durée de vie ou la période entre les réparations), ce qui est assuré par le choix fondé d'une fuite maximale envisagée, la rapidité d'action et le doublement de la robinetterie d'isolement et des dispositifs de vidange du circuit eau-vapeur et l'existence de membrane d'éclatement passive sur la bêche tampon et les modules côté sodium.

Indices déterminant la fiabilité du générateur de vapeur :

- 1) Masse d'eau globale projetée dans le circuit sodium;
- 2) Durée totale de l'assèchement du module accidenté côté circuit eau-vapeur;
- 3) Probabilité de non-apport de sodium dans le circuit eau-vapeur;
- 4) Probabilité d'isolement du générateur de vapeur par suite de défaillances dans les mécanismes de déclenchement du système d'arrêt d'urgence du G.V.

Selon le second groupe des indices, le critère de l'efficacité du système d'arrêt d'urgence du G.V. s'avère être le niveau relatif des dépenses (investissement et l'exploitation) et les pertes dues à un manque de production d'énergie, lié au contrôle et la protection contre les conséquences d'une interaction de sodium avec l'eau.

Pour un générateur de vapeur du type modulaire, les valeurs quantitatives admissibles des indices indiqués, sont déterminées à partir des conditions d'isolement du module accidenté sur un générateur de vapeur en service ou la conservation du module défectueux dans un état possible de réparabilité.

3. ARGUMENTATION POUR UNE FUITE MAXIMALE ENVISAGÉE

La fuite maximale envisagée (MPT), est la plus grande des fuites possibles choisies sur la base des représentations physiques et des données expérimentales, qui est utilisée pour le choix et le fondement des solutions techniques pour le système d'arrêt d'urgence du générateur de vapeur.

En qualité de MPT, on examine deux voies de développement de fuite des tubes d'échange thermique d'un générateur de vapeur :

Développement intense de la fuite dans le tube à la suite d'une ouverture du défaut de caractère métallurgique ou technologique;

Action corrosive sur les tubes voisins de la fuite initiale, dont l'arrêt est impossible par suite des défaillances de l'arrêt d'urgence du générateur de vapeur dans un laps de temps suffisant pour des destructions secondaires.

La possibilité d'une réalisation de ces deux voies de développement des défauts (apparition), est confirmée par l'expérience d'exploitation. Au titre d'information initiale pour la fuite maximale envisagée, il est indispensable de déterminer ou de cerner l'importance de l'endommagement et la vitesse des détériorations.

Pour les deux cas, le plus simple s'avère être la supposition d'une rupture instantanée d'un tube de générateur de vapeur sur toute sa section. Mais il est clair qu'une telle supposition s'avère être relativement conservatrice (particulièrement en ce qui concerne la vitesse de l'endommagement), mais cela n'exclut pas la nécessité d'effectuer des

études pour prouver des endommagements moindres de même que des vitesses d'endommagements moins rapides.

La probabilité d'un endommagement de plus d'un tube ne peut être évalué que qualitativement (rupture instantanée ou consécutive, sous l'action d'une fuite initiale).

Pour l'examen d'une défaillance soudaine, il est réaliste d'examiner, entre autres, ce qui suit :

- 1) La probabilité d'un endommagement simultané de deux tubes ou même plus est faible;
- 2) L'action d'une grande fuite, apparaissant au cours d'une rupture, sur toute la section d'un tube, n'entraîne pas de détérioration secondaire sur les tubes voisins par suite d'effets hydrodynamiques importants, du mélange dans le flux de sodium et la formation d'une bulle de gaz.

Pour les cas de dommages secondaires sous l'action d'une fuite initiale en cours de développement, on sait, sur la base de données expérimentales et des calculs que :

- 1) Au cours d'une vitesse maximale de l'endommagement par corrosion du tube-cible (fuite de 1-10 g/sec), est possible un endommagement total d'un tube sous l'action directe d'un jet d'eau sur ce dernier dans le laps de temps de la détection de la fuite et de son arrêt;
- 2) Avec une valeur de fuite supérieure de 10g/sec, la zone d'endommagement des tubes voisins de même que la durée de leur endommagement total augmente mais, diminue de manière notable le temps de la détection de la fuite.

3) Avec un intervalle successif d'endommagement des tubes de $\approx 0,1$ sec, la valeur de la pression maximale à l'emplacement de la fuite ne dépasse pas les valeurs du pic de pression, apparaissant au cours d'une rupture instantanée d'un tube.

Sur la base de ce qui vient d'être explicité, on a retenu en qualité de fuite maximale prévisible dans un générateur de vapeur modulaire "sodium-eau", une fuite apparaissant au cours d'une rupture instantanée d'un tube, sur toute la section, avec un écoulement d'eau (vapeur) provenant des deux extrémités.

4. RESULTATS DES CALCULS D'UNE FUITE MAXIMALE PREVISIBLE DANS UN GENERATEUR DE VAPEUR MODULAIRE

Le générateur de vapeur examiné se compose de 10 sections branchées parallèlement chacune desquelles comprenant deux modules - un évaporateur et un surchauffeur. La construction des modules est analogue au module de l'évaporateur PG BN-600.

Le modèle théorique des processus se déroulant lors d'une fuite d'eau (vapeur) dans le sodium dans un générateur de vapeur modulaire, comprend une description mathématique du développement des processus d'écoulement de l'eau (vapeur), de l'interaction de l'eau avec le sodium et la propagation des produits d'interaction, la mesure des paramètres du circuit eau-vapeur au cours d'un isolement par la robinetterie d'arrêt.

Le calcul des paramètres pour le circuit sodium est effectué d'après le modèle suivant :

Au stade initial du processus d'interaction du sodium avec l'eau (en cas d'absence d'un volume de gaz dans la zone de fuite) on prend en compte la compressibilité du sodium;

Après la décroissance des perturbations dynamiques, liées à la propagation des ondes de pression dans le sodium, les paramètres dans la zone de la fuite et dans le circuit sodium ont été déterminés en utilisant les équations de l'hydrodynamique instable de la non-compressibilité du fluide.

Lors de l'analyse des régimes accidentels dans le générateur de vapeur, on a supposé qu'au moment de la formation d'une grande fuite (≈ 1 sec après le début de l'apparition), est émis un signal d'alerte, déclenchant automatiquement l'arrêt d'urgence de l'appareil.

L'arrêt d'urgence d'un générateur de vapeur modulaire est construit selon un schéma à deux niveaux - sur signal d'alarme ce déclenche la protection du module et seulement après le dépassement du seuil de pression dans le ciel de la bêche-tampon, se déclenche l'arrêt d'urgence général du générateur de vapeur.

Les protections du module et de l'ensemble du générateur de vapeur sont construites selon un seul et unique principe, à savoir : isolement :ôté eau-vapeur, baisse de pression de la vapeur; arrêt de la circulation du sodium suivi d'un isolement et d'une vidange du module accidenté.

Les solutions de projet pour le système d'arrêt d'urgence du générateur de vapeur (sections de passage des circuits de vidange, rapidité d'action des dispositifs d'isolement et de vidange) ont été déterminé d'après les résultats des calculs des processus incidentels lors d'une fuite maximale prévisible dans les cas de défaillances de divers dispositifs de protection. Les conséquences les plus pénalisantes

apparaissent en cas de non-ouverture du dispositif de sécurité du circuit eau-vapeur du module. Dans ce cas, la protection du module n'assure pas un isolement de ce dernier "en marche" et il se produit un isolement de tout le générateur de vapeur avec un éclatement de la membrane sur la bêche tampon.

La mesure théorique des paramètres au cours d'une fuite maximale prévisible côté circuit sodium et côté circuit eau-vapeur, est présentée sur les figures 1 à 3.

La masse globale d'eau (vapeur) introduite dans le sodium dans les conditions d'une fuite maximale prévisible au cours d'un fonctionnement normal de l'arrêt d'urgence, représente ~ 26 kg, en cas de défaillance du dispositif de sécurité principal - ~ 100 kg ; dans ce cas, dans le circuit sodium apparaissent des produits de réaction de respectivement ~ 20 kg et de ~ 30 kg d'eau (vapeur).

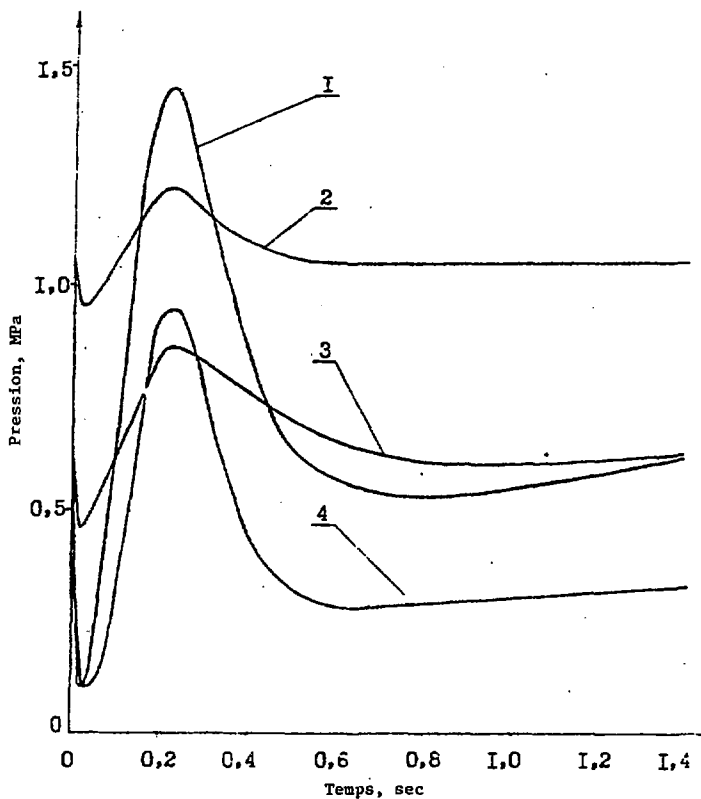
Au cours d'une fuite maximale prévisible, la contamination du circuit sodium par des produits de réaction dépasse les seuils admissibles d'une exploitation normale et nécessitent la mise en oeuvre d'une épuration intensive du sodium, une limitation de la puissance, voire même un isolement du générateur de vapeur, mais par suite d'un temps d'action relativement limité, ne fait pas apparaître de craintes du point de vue de l'action corrosive sur les équipements du circuit.

L'évaluation maximale du taux d'endommagement de la paroi de l'enveloppe des modules de générateur de vapeur pour le cas d'une action directe du jet d'eau (vapeur) à une vitesse maximale d'endommagement corrosif, donne un temps de percement de l'enveloppe de $\simeq 400$ sec, ce qui est nettement plus grand au temps d'arrêt de fuite dans un générateur de vapeur modulaire, y compris en présence d'une défaillance les plus contraignantes.

Lors d'une fuite maximale prévisible, l'élévation de la pression dans le circuit sodium ne dépasse pas la pression admissible, ou bien elle est limitée par le déclenchement de la membrane d'éclatement.

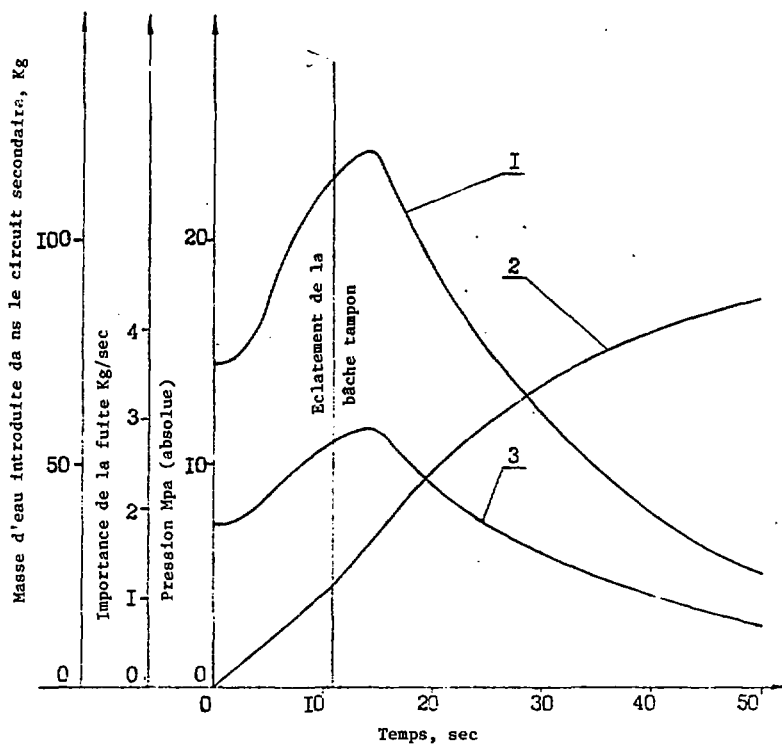
5. CONCLUSION

Les résultats présentés d'une analyse *théorique* et qualitative d'un développement de processus accidentels dans un générateur de vapeur modulaire "sodium-eau"; confirment que dans les conditions d'une fuite maximale prévisible, les solutions de projet pour les systèmes d'arrêt d'urgence du générateur de vapeur garantissent la réalisation des conditions ^{de sûreté} de même que les seuils d'une exploitation sûre des centrales nucléaires.



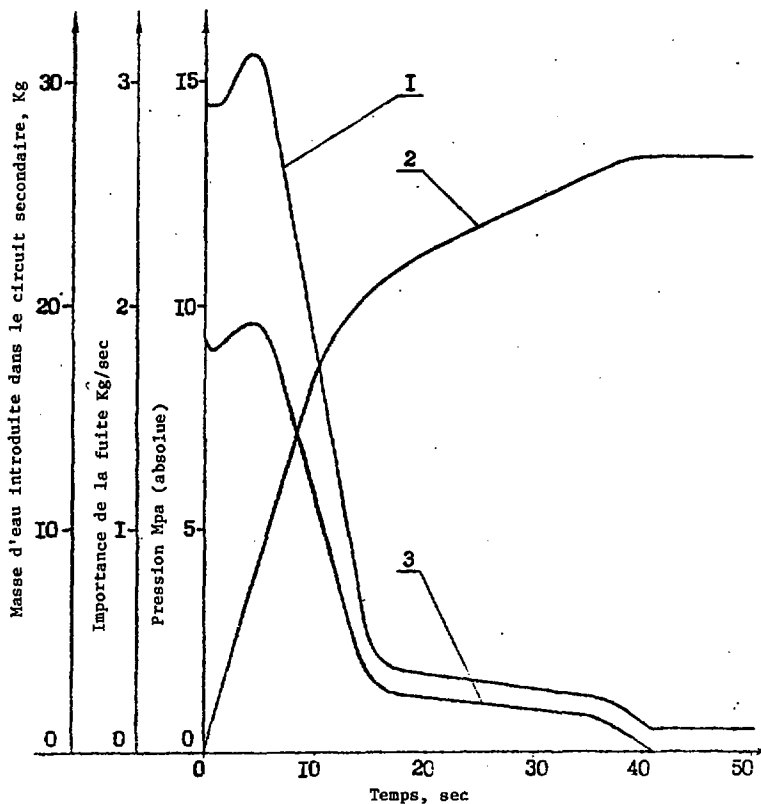
1. Variation de la pression à l'emplacement de la fuite;
2. Variation de la pression à l'emplacement de la membrane de sécurité en sodium;
3. Variation de la pression dans le collecteur de distribution;
4. Variation de la pression dans l'échangeur, dans le secteur de la plaque tubulaire inférieure.

Figure 1. Distribution de la Pression dans le Circuit Secondaire



1. Pression dans le circuit tertiaire;
2. Masse d'eau (vapeur introduite dans le circuit secondaire)
3. Importance de la fuite.

Figure 3 Variation des paramètres dans le circuit eau - vapeur d'un module accidenté au cours d'un arrêt d'urgence et une défaillance du principal dispositif de sécurité.



1. Pression dans le circuit tertiaire;
2. Masse d'eau (vapeur) introduite dans le circuit secondaire;
3. Importance de la fuite.

Figure 2. Variation des Paramètres dans le Circuit Eau-Vapeur dans un Module Accidenté au Cours d'un Fonctionnement Normal de la Protection.