

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 1

SOMMAIRE

III-4.3.3.9. RUPTURE D'UN TUBE DE GENERATEUR DE VAPEUR

1. DEFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

2. MOYENS DE PROTECTION

2.1. PRECAUTIONS PERMETTANT DE LIMITER LA PROBABILITE DE L'ACCIDENT

2.2. MOYENS AUTOMATIQUES DE PROTECTION

3. DEFINITION DU CAS ETUDIE

4. ETUDE DE LA PHASE A ET DE LA PHASE B

4.1. HYPOTHESES DE CALCUL

4.1.1. Choix de l'aggravant

4.1.2. Etat initial

4.1.2.1. Circuit primaire :

4.1.2.2. Circuit secondaire

4.1.3. Calcul du débit brèche

4.1.4. Données neutroniques

4.1.5. Hypothèses fonctionnelles sur les circuits fluides

4.1.6. Hypothèses relatives aux régulations

4.1.7. Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde

4.1.8. Autres hypothèses

4.2. METHODES ET CODES DE CALCUL

4.3. RESULTATS

5. ETUDE DE LA PHASE C

5.1. RESULTATS

LISTE DES REFERENCES

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 2

TABLEAU

T-1 TEMPS OPERATEUR DE 10 MINUTES SEQUENCE DES PRINCIPAUX EVENEMENTS

FIGURES

- F-III-4.3.3.9.1. Intervention de l'opérateur à 10 minutes. Pression du circuit primaire et des générateurs de vapeur.
- F-III-4.3.3.9.2. Intervention de l'opérateur à 10 minutes. Débit d'eau à la brèche et débit d'injection de sécurité.
- F-III-4.3.3.9.3. Intervention de l'opérateur à 10 minutes. Evolution du TRIC et du niveau gamme étroite des générateurs de vapeur.
- F-III-4.3.3.9.4. Intervention de l'opérateur à 10 minutes. Masse d'eau dans les générateurs de vapeur.

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ - RAPPORT STANDARD - Edition VD2	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe			SECTION : 3.3.9
			PAGE : 3

III-4.3.3.9. RUPTURE D'UN TUBE DE GENERATEUR DE VAPEUR

1. DEFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

L'accident peut être dû à une rupture plus ou moins franche d'un tube de générateur de vapeur.

Les conséquences les plus significatives de cet accident sont liées aux risques de contamination du secondaire par de l'eau primaire, ainsi que de rejets radioactifs à l'atmosphère.

En effet, l'eau primaire est radioactive, et peut être contaminée par des produits de fission dans la mesure où un certain nombre de gaines de crayons combustibles sont défectueuses.

Cet accident provoque une perte de réfrigérant entraînant une diminution de pression au primaire, ainsi qu'une contamination du circuit secondaire. Cette dépressurisation peut aller jusqu'au démarrage de l'injection de sécurité, qui tend à compenser la perte de fluide primaire, donc à maintenir le débit à travers la brèche.

Après l'arrêt automatique du réacteur, si le condenseur n'est pas disponible, les vannes de contournement vapeur au condenseur restent fermées, et les vannes de décharge à l'atmosphère, puis éventuellement les soupapes de sûreté des générateurs de vapeur s'ouvrent. Elles évacuent alors à l'atmosphère de la vapeur contaminée.

Les études de rupture de tube de générateur de vapeur doivent montrer que les rejets d'effluents radioactifs restent acceptables compte tenu des probabilités des initiateurs. Ceci conduit à ne pas dépasser certaines limites en équivalents de doses. En limite de site (500 m), les valeurs prises en considération sont les suivantes :

En Condition III :

- organisme entier : 5 mSv (0,5 rem),
- dose à la thyroïde : 15 mSv (1,5 rem),

(selon le décret 66450 du 20/06/1966).

2. MOYENS DE PROTECTION

2.1. PRECAUTIONS PERMETTANT DE LIMITER LA PROBABILITE DE L'ACCIDENT

La probabilité de cet accident est réduite grâce aux précautions suivantes :

- les tubes des générateurs de vapeur sont en INCONEL 600, matériau de haute ductilité, sur l'ensemble du palier à l'exception de TRICASTIN 1 et 2 où les tubes sont en INCONEL 690,
- l'eau secondaire subit un traitement chimique, destiné à éviter la corrosion de ces tubes,

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 4

- les dispositions de suivi, en fonctionnement normal, de la fuite primaire-secondaire, permettent de s'assurer de l'état de santé des tubes des générateurs de vapeur.

2.2. MOYENS AUTOMATIQUES DE PROTECTION

Ce sont :

- les alarmes de très basse pression dans le pressuriseur,
- les alarmes indiquant une forte augmentation de l'activité des purges de chaque générateur de vapeur, de la vapeur en sortie de chaque générateur de vapeur et de l'air au niveau de l'éjecteur d'air du condenseur,
- l'arrêt automatique du réacteur obtenu par un signal de basse pression dans le pressuriseur. Cette action va entraîner l'arrêt de la turbine par fermeture des vannes d'admission. La vapeur est alors envoyée, soit au condenseur, soit à l'atmosphère, selon la disponibilité du contournement vapeur au condenseur. Cet arrêt automatique du réacteur est inhibé en dessous de 10 % Pn,
- le signal de très basse pression dans le pressuriseur qui démarre l'injection de sécurité. Cette action entraîne, par l'intermédiaire de la séquence de sauvegarde, l'arrêt automatique du réacteur, l'arrêt de l'eau alimentaire normale et le démarrage de l'eau alimentaire de secours,
- le signal de très haut niveau dans le générateur de vapeur accidenté en coïncidence avec une puissance supérieure à P7 qui entraîne l'arrêt automatique du réacteur, l'isolement de l'eau alimentaire normale, le déclenchement de la turbine par fermeture des vannes d'admission.

3. DEFINITION DU CAS ETUDIE

Le cas étudié correspond à la rupture guillotine doublement débattue d'un tube de générateur de vapeur.

On recherche les conditions les plus pénalisantes, vis-à-vis de la masse d'eau passant du primaire au secondaire, et du secondaire à l'atmosphère.

Pour aboutir à la masse maximale d'eau relâchée, pendant un laps de temps donné, il faut rechercher l'état initial le plus pénalisant (masse d'eau dans les générateurs de vapeur) et le débit brèche instantané maximum, donc la différence de pression maximale entre le primaire et le secondaire.

L'ensemble des hypothèses tend donc à augmenter cette différence de pression, à chaque instant.

L'état initial retenu vise à maximiser le remplissage du générateur de vapeur affecté et se situe donc à faible charge (attente à chaud à 2% Pn), car la masse d'eau initiale dans les générateurs de vapeur est la plus importante, ce qui se traduit par l'absence de tassement du niveau des générateurs de vapeur après l'arrêt automatique du réacteur.

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 5

4. ETUDE DE LA PHASE A ET DE LA PHASE B

4.1. HYPOTHESES DE CALCUL

4.1.1. Choix de l'aggravant

L'aggravant retenu est le blocage d'une vanne d'eau alimentaire de secours vers le générateur de vapeur affecté. Cet aggravant maximise la quantité d'eau entrant dans le générateur de vapeur affecté et donc les rejets sous forme liquide s'il y en a.

4.1.2. Etat initial

4.1.2.1. Circuit primaire :

Les principales hypothèses sont les suivantes:

- le réacteur est en état d'attente à chaud. La puissance initiale du cœur est de 2 % Pn,
- la température moyenne primaire à 2 % est diminuée de 2,2°C soit 284,2°C,
- la pression primaire nominale, 15,5 MPa, est augmentée de 0,21 MPa, soit 15,71 MPa,
- le niveau d'eau dans le pressuriseur correspondant au niveau de consigne est majoré des incertitudes sur la température primaire et sur la chaîne de régulation soit 29,43 %,
- le débit primaire est le débit thermohydraulique soit 22 000 m³/h.
- le pourcentage de tubes des générateurs de vapeur bouchés est de 5 %.
- la température initiale du volume d'eau sous le dôme est celle de la branche froide.
- les coefficients de mélange du fluide primaire choisis sont ceux qui traduisent un mauvais mélange afin de maximiser l'écart en température servant au critère d'arrêt des pompes ISHP.

4.1.2.2. Circuit secondaire

Les principales hypothèses sont les suivantes:

- les température et pression initiales des générateurs de vapeur, qui sont fonction du niveau de puissance, des températures moyennes primaires et d'eau alimentaire normale, sont minimisées.
- l'enthalpie de l'eau alimentaire normale est prise constante et égale à sa valeur initiale.
- le niveau d'eau initial dans les générateurs de vapeur est le niveau de consigne nominal indiqué par le programme de niveau auquel s'ajoutent 2,65 % d'incertitudes.

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ - RAPPORT STANDARD - Edition VD2	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe			SECTION : 3.3.9
			PAGE : 6

4.1.3. Calcul du débit brèche

Le débit initial à travers la brèche, suivant les conditions initiales primaires et secondaires, peut être sous-critique (Bernoulli) ou critique (modèle spécifique) ; dans ce dernier cas, le débit est évalué en tenant compte des pertes de charge minimales dans le tube.

La taille de brèche est maximale ; la section d'ouverture correspond à celle d'un tube au ras de la plaque tubulaire.

Le débit initial calculé vaut 43 kg/s, pour une différence de pression entre le primaire et le secondaire de 0,9 MPa.

4.1.4. Données neutroniques

Jusqu'à l'arrêt automatique du réacteur, la puissance nucléaire est constante, et maintenue à la valeur définie à l'instant initial ce qui revient à considérer les contre-réactions neutroniques nulles.

4.1.5. Hypothèses fonctionnelles sur les circuits fluides

La purge du générateur de vapeur affecté n'est pas prise en compte, ce qui maximise le remplissage de ce générateur de vapeur.

4.1.6. Hypothèses relatives aux régulations

La régulation de niveau d'eau dans le pressuriseur est en service à l'instant initial.

La régulation de pression primaire est en service. La puissance totale fournie par les chaufferettes à l'instant initial est maximale de façon à ralentir la décompression du circuit primaire. Le débit d'aspersion continue n'est pas pris en compte. Les chaufferettes s'arrêtent dès que la baisse de niveau pressuriseur menace de les découvrir.

La régulation de la charge turbine est prise en compte. Le débit vapeur est maintenu constant par l'ouverture modulée des vannes d'admission de la turbine.

La régulation de niveau GV est en mode manuel à l'instant initial ; le débit d'eau alimentaire est donc maintenu constant à la valeur définie dans les conditions initiales de puissance, jusqu'à la fermeture des vannes au signal le demandant pendant la phase des actions automatiques.

La régulation du GCT est en service; Le point de consigne du GCT est minimisé et pris égal à celui du GCT-C soit 7,07 MPa (7,17 MPa moins 0,1 MPa d'incertitude) ; la pression de consigne choisie est pénalisante puisqu'elle tend à majorer la différence de pression primaire-secondaire.

4.1.7. Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde

En dessous de 10% Pn (permisif P7), le signal d'arrêt automatique du réacteur est émis à la suite de l'obtention du signal d'injection de sécurité. Il déclenche la chute des grappes 1,5 secondes après l'émission du signal d'injection de sécurité.

La chaleur résiduelle prise en compte est celle définie dans le chapitre "Règles générales pour les études d'accidents du domaine de dimensionnement" (voir [III-4.3.1](#))

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 7

Le point de consigne de l'injection de sécurité par très basse pression au pressuriseur est de 11,76 MPa compte tenu d'une incertitude de 0,17 MPa.

De façon conservative, le débit d'injection de sécurité est le débit maximal délivré par les deux pompes haute pression. L'injection de sécurité démarre immédiatement après le signal.

L'isolement de l'eau alimentaire de secours est commandé par l'opérateur avec un délai pour le générateur de vapeur accidenté en raison de l'aggravant sur la vanne d'isolement.

L'isolement de l'eau alimentaire normale s'effectue sur le signal d'injection de sécurité, le temps de fermeture de ces vannes est de 8,5 s.

Les deux motopompes d'eau alimentaire de secours démarrent sans délai dès l'obtention du signal d'injection de sécurité. Le débit est de 58,6 m³/h alimentant le générateur de vapeur accidenté.

Pour ne pas accélérer le refroidissement et, ainsi, la dépressurisation du fluide primaire, les débits d'eau alimentaire de secours alimentant les générateurs de vapeur sains sont égaux à 33 m³/h.

La turbopompe d'eau alimentaire de secours démarre sans délai sur le signal de très bas niveau dans un générateur de vapeur soit un débit de 57,9 m³/h alimentant le générateur de vapeur accidenté et de 33 m³/h sur les autres.

4.1.8. Autres hypothèses

L'isolement de la décharge du circuit RCV s'effectue lorsque le seuil de très bas niveau dans le pressuriseur est atteint: soit une valeur de 10 % plus 4 % d'incertitudes sur les capteurs, afin de maximiser l'eau qui entre dans le circuit primaire.

L'isolement de la charge du RCV survient lui à l'apparition du signal d'injection de sécurité.

4.2. METHODES ET CODES DE CALCUL

Le code de calcul utilisé est le code THEMIS.(voir [III-4.3.1](#))

4.3. RESULTATS

Les résultats sont issus de la note GARANCE CPY (cf. [Réf. 1](#)).

| Le signal d'injection de sécurité par très basse pression pressuriseur intervient à 297 secondes

L'injection de sécurité démarre immédiatement après le signal ainsi que les deux motopompes d'eau de secours.

Dans le cas étudié, à 2 % Pn le signal d'arrêt automatique du réacteur sur basse pression dans le pressuriseur est inhibé, et la régulation de niveau GV par l'eau alimentaire normale n'est pas prise en compte. De plus le très bas niveau dans les générateurs de vapeurs sains n'est pas atteint après le déclenchement de la turbine, et donc, la turbopompe alimentaire ne démarre pas.

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 8

5. ETUDE DE LA PHASE C

| Pour le transitoire étudié, conformément aux dispositions prévues dans le document d'étude (cf. [Réf. 2](#)), les principales actions de l'opérateur sont les suivantes :

- isolement du générateur de vapeur, accidenté (arrêt de l'eau alimentaire de secours dès que possible, fermeture de la ligne VVP en aval des soupapes et du GCTa),
- refroidissement maximal avec les GCT-A des générateurs de vapeur sains,
- isolement des accumulateurs,
- | - arrêt de la première file d'injection de sécurité sur critère $\Delta T_{SAT} > \varepsilon$
- passage de l'injection de sécurité en configuration charge (après avoir arrêté une file d'injection de sécurité si les deux files étaient en fonctionnement).

5.1. RESULTATS

Les résultats avec intervention de l'opérateur 10 min après le signal d'injection de sécurité sont issus de la note GARANCE CPY (cf. [Réf.1](#)).

La séquence des événements est présentée dans le tableau T-1.

Les figures n° 1 à 4. indiquent l'évolution des paramètres suivants :

- pression primaire et pression dans les trois générateurs de vapeur (voir [F-III-4.3.3.9.1](#)),
- débit d'eau à la brèche et débit d'injection de sécurité (voir [F-III-4.3.3.9.2](#)),
- température RIC MAX et niveau gamme étroite des générateurs de vapeur (voir [F-III-4.3.3.9.3](#)),
- masse d'eau dans les générateurs de vapeur (voir [F-III-4.3.3.9.4](#)).

Pour un temps opérateur de 10 min, le générateur de vapeur accidenté ne se remplit pas complètement et la masse de vapeur rejetée vaut 720 kg. Les rejets en vapeur restent faibles.

La fuite du primaire vers le secondaire est annulée et l'évacuation de la puissance résiduelle est obtenue en utilisant l'eau alimentaire de secours et le contournement vapeur à l'atmosphère sur les générateurs de vapeur sains.

A plus long terme, le système atteint les conditions de connexion du système de refroidissement du réacteur à l'arrêt.

EDF	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
<i>Electricité de France</i>	NUCLÉAIRES		CHAPITRE : 4
Palier 900 MWe		- RAPPORT STANDARD -	SECTION : 3.3.9
		Edition VD2	PAGE : 9

LISTE DES REFERENCES

- [1] Note FRAMATOME Projet GARANCE - Rupture d'un tube de générateur de vapeur en classe 3 - EP/RP/DC.585 ind B.
- [2] Note EDF - Vérification de la cohérence entre le jeu APE 900 et phase C des études d'accident GARANCE du domaine de dimensionnement - ENS FC/97.0167A.

EDF	CENTRALES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ	VOLUME : III
<i>Electricité de France</i>	NUCLÉAIRES		- RAPPORT STANDARD -
Palier 900 MWe		Edition VD2	
PAGE : 10			

T-1 TEMPS OPERATEUR DE 10 MINUTES SEQUENCE DES PRINCIPAUX EVENEMENTS

EVENEMENT	TEMPS (S)
Ouverture de la brèche	0
Signal d'injection de sécurité	297
Actions opérateur : Arrêt de la première file d'injection de sécurité Mise en service de l'aspersion auxiliaire Refroidissement maximal	897
Arrêt de la deuxième file d'injection de sécurité	1008
Inversion du débit brèche	1010
Fermeture de la vanne d'eau alimentaire de secours bloquée	1800

EDF <i>Electricité de France</i>	CENTRALES NUCLÉAIRES	RAPPORT DÉFINITIF DE SÛRETÉ - RAPPORT STANDARD -	VOLUME : III CHAPITRE : 4 SECTION : 3.3.9
Palier 900 MWe		Edition VD2	PAGE : 12