

CHAPITRE 5 CIRCUIT PRIMAIRE ET SYSTÈMES ASSOCIÉS

5.0 EXIGENCES DE SÛRETÉ

5.1 DESCRIPTION DU CIRCUIT PRIMAIRE

5.2 INTÉGRITÉ DE L'ENVELOPPE SOUS PRESSION DU CIRCUIT PRIMAIRE

5.3 CUVE DU RÉACTEUR ET MATÉRIELS CONNEXES

5.4 DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS ET SOUS-SYSTÈMES

SOMMAIRE

.5.0	EXIGENCES DE SÛRETÉ	2
1.	FONCTIONS DE SÛRETÉ	2
1.1.	CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	2
1.2.	ÉVACUATION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE	2
1.3.	CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	2
2.	CRITÈRES FONCTIONNELS	2
2.1.	CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	2
2.2.	ÉVACUATION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE	2
2.3.	CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	3
3.	EXIGENCES DE CONCEPTION	5
3.1.	EXIGENCES ISSUES DU CLASSEMENT SURETE	5
3.1.1.	CLASSEMENT SÛRETÉ	5
3.1.2.	CRITÈRE DE DÉFAILLANCE UNIQUE (ACTIVE ET PASSIVE)	5
3.1.3.	ALIMENTATIONS SECOURUES	5
3.1.4.	QUALIFICATION AUX CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	5
3.1.5.	CLASSEMENT ÉQUIPEMENTS MÉCANIQUES, ÉLECTRIQUES ET DE CONTRÔLE COMMANDE	5
3.1.6.	CLASSEMENT SISMIQUE	5
3.2.	AUTRES EXIGENCES REGLEMENTAIRES	5
3.2.1.	TEXTES OFFICIELS	5
3.2.2.	RÈGLES FONDAMENTALES DE SÛRETÉ	6
3.2.3.	DIRECTIVES TECHNIQUES	6
3.2.4.	TEXTES SPÉCIFIQUES AUX RÉACTEURS EPR	6
3.3.	AGRESSIONS INTERNES / EXTERNES	6
3.3.1.	AGRESSIONS INTERNES	6
3.3.2.	AGRESSIONS EXTERNES	6
4.	TESTS	6

.5.0 EXIGENCES DE SÛRETÉ

1. FONCTIONS DE SÛRETÉ

1.1. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ

L'eau du circuit primaire (RCP), qui est également utilisée comme modérateur de neutrons, réflecteur de neutrons, absorbeur de neutrons et solvant des solutions concentrées d'acide borique, doit contribuer dans les conditions de fonctionnement PCC-1 à 4 et RRC-A, au contrôle de la réactivité indépendamment des grappes de contrôle.

1.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE

Le circuit primaire doit contribuer à l'évacuation de la puissance résiduelle vers le circuit secondaire ou le système RIS-RA en mode RA ou les autres moyens valorisés dans les conditions de fonctionnement PCC-2 à 4 et RRC-A.

1.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES

Le circuit primaire doit assurer le confinement :

- des éléments radioactifs issus du combustible, l'enveloppe sous pression du circuit primaire constituant ainsi la deuxième barrière de confinement,
- des produits activés en solution ou en suspension dans le fluide primaire,

En cas d'accident grave, en empêchant, par dépressurisation, les transitoires d'éjection à haute pression du cœur fondu, il doit également participer au confinement des éléments radioactifs à l'intérieur de la 3^{ème} barrière de confinement.

2. CRITÈRES FONCTIONNELS

2.1. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ

Les exigences et critères associés sont abordés dans les chapitres « Conception neutronique » (voir sous-chapitre 4.3), « RBS » (voir sous-chapitre 6.7), « RCV » (voir section 9.3.2) et « RIS » (voir sous-chapitre 6.3) du Rapport de Sûreté.

Les critères fonctionnels relatifs au rôle de modérateur et réflecteur de neutrons et au rôle d'absorbeur de neutrons, sont précisés dans le sous-chapitre 4.3.

Les critères fonctionnels relatifs au système de contrôle de l'injection des solutions concentrées d'acide borique sont précisés au sous-chapitre 6.7, section 9.3.2 et sous-chapitre 6.3.

2.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE

Le système RCP en liaison avec le cœur, les circuits de refroidissement associés et les systèmes de protection et de contrôle doit être conçu avec une marge suffisante pour garantir que les limites admissibles du combustible ne soient pas dépassées en fonctionnement normal ou perturbé.

Le circuit primaire, associé aux systèmes auxiliaires doivent être conçus pour contrôler les principaux paramètres du fluide de refroidissement, c'est-à-dire :

- l'inventaire en eau (niveau d'eau dans la cuve et dans le pressuriseur),
- la marge à la saturation,
- les caractéristiques chimiques par échantillonnage du fluide de refroidissement.

Une instrumentation permettant de surveiller les paramètres primaires doit être mise en œuvre et accompagnée de dispositifs de régulation pour :

- maintenir le réacteur dans les limites de conception lors du fonctionnement normal,
- permettre le contrôle de la tranche jusqu'à l'état d'arrêt sûr en fonctionnement incidentel ou accidentel,
- permettre le contrôle de la tranche jusqu'à l'état final en conditions RCC-A.

En fonctionnement normal, le débit primaire est assuré par les GMPP.

L'implantation du circuit primaire doit permettre l'évacuation de la puissance par circulation naturelle après une perte du débit primaire.

L'inertie des GMPP et, si nécessaire, des systèmes de protection doivent permettre de conserver l'intégrité de la gaine du combustible après une perte totale d'alimentation électrique externe (MDTE).

En cas de perte totale du système de refroidissement, une capacité suffisante de décharge par le système RCP doit être assurée pour engager le mode gavé-ouvert avec le système RIS-RA en mode injection de sécurité ouvert dans le but de prévenir la fusion du cœur.

2.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES

isolement du circuit primaire

Deux organes d'isolement en série doivent être mis en place conformément aux dispositions de l'Arrêté Exploitation du 10 novembre 99 modifié (et de sa circulaire d'application), celui-ci étant appelé par l'Arrêté ESPN (Titre I, article 3.1.a/).

intégrité du circuit primaire

Le maintien de l'étanchéité du primaire au niveau des GMPP doit être assuré en cas de perte combinée de l'injection aux joints des GMPP et du refroidissement de la barrière thermique.

La protection contre les surpressions primaires (voir section 3.6.3) doit être assurée par des dispositifs de sûreté adaptés conçus conformément aux exigences de l'Arrêté Exploitation et de l'Arrêté ESPN qui renvoie à celles du décret n° 2016-1925 du 28 décembre 2016. En cas d'évènement survenant dans l'état A, cette fonction peut-être assurée par les soupapes de sûreté du pressuriseur en plus de l'arrêt automatique du réacteur. Cette protection est également assurée en cas d'évènement survenant dans les états B et C, ou dans des conditions RRC-A, en particulier en cas d'ATWS.

Des structures de supportage des gros équipements primaires doivent être mises en place pour limiter les contraintes exercées sur la tuyauterie primaire en fonctionnement normal ou en cas d'incident.

hypothèses relatives à une rupture du système RCP

L'hypothèse d'Exclusion de Rupture s'applique, pour le système RCP, aux branches chaudes, branches froides et branches en U des tuyauteries primaires principales y compris les soudures bimétalliques et les soudures homogènes de raccordement aux récipients (cuve, GV, GMPP), y compris les piquages intégrés de forge et y compris les soudures d'implantation des piquages pénétrés d'aspersion normale du pressuriseur et de RCV décharge, à l'exclusion des soudures de raccordement de ces piquages avec les lignes connectées. Les exigences de sûreté relatives à l'exclusion de rupture et les principes de la mise en œuvre de la démarche d'exclusion de rupture sur les tuyauteries principales du circuit primaire, sont détaillées aux sections 3.4.2 et 5.2.3. Ainsi la rupture complète doublement débattue d'une ligne primaire principale n'est pas étudiée au titre des accidents PCC-4. En revanche doivent être postulées les ruptures des piquages connectés, en particulier :

- ligne d'expansion du pressuriseur (plus gros piquage connecté),

- piquage RIS-RA en branche chaude,
- piquage RIS-RA en branche froide.

Ces brèches, étudiées avec les hypothèses propres aux accidents PCC-4 doivent permettre de vérifier, outre la sauvegarde du cœur, que :

- la rupture n'induit pas de défaillance sur les lignes primaires principales, ni sur une autre ligne connectée,
- le comportement mécanique des internes de cuve est satisfaisant et permet d'assurer le refroidissement et l'arrêt du cœur (chute des barres possible, géométrie du cœur refroidissable ...),
- les supports des composants primaires sont intègres,
- l'intégrité de l'enceinte sous pression des gros composants (GMPP, GV,...) et de leurs internes qui sont enveloppes sous pression est assurée.

Cependant, au titre de la défense en profondeur, une brèche de section équivalente 2A d'une ligne primaire principale doit être également envisagée au titre de mesures complémentaires. Ces analyses doivent permettre :

- le dimensionnement, avec des hypothèses réalistes :
 - des capacités du système RIS-RA en mode injection de sécurité,
 - de la tenue de l'enceinte à la pression et à la température,
 - des conditions de qualification aux conditions accidentelles des équipements.
- la mise en œuvre des dispositions d'installation permettant d'assurer que les dommages sont confinés à une seule boucle.
- la vérification de la stabilité des gros composants sous l'effet de l'effort statique « 2pA ».

fuites sur le système RCP

Deux types de fuites distincts doivent être considérés :

- les fuites quantifiées sur le circuit primaire qui sont collectées par le système et réparties sur les capacités dédiées,
- les fuites non quantifiées sur le circuit primaire qui ne peuvent être localisées ou détectées autrement que par un bilan de fuite.

Au moins deux dispositifs différents et indépendants doivent permettre une détection de fuite. Les appareils destinés à contrôler les fuites primaires doivent être capables d'identifier et de mesurer rapidement toute fuite du fluide primaire.

Les fuites non quantifiées doivent être périodiquement estimées par bilan de fuite.

dépressurisation en cas d'Accident Grave

En cas d'accident grave, le système RCP doit être équipé d'un système de dépressurisation spécifique permettant d'éviter la fusion du cœur à haute pression, ceci dans l'objectif de protéger l'enceinte de confinement. Ce dispositif doit permettre de transformer avec une haute fiabilité les séquences avec fusion du cœur à haute pression en séquences avec fusion du cœur à basse pression de telle sorte que les situations de fusion du cœur à haute pression puissent être pratiquement éliminées.

La dépressurisation doit être telle que l'installation puisse faire face aux chargements résultant de l'éjection du cœur fondu dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement ("échauffement direct de l'enceinte") et aux chargements sur les supportages de la cuve du réacteur et les structures du puits de cuve (voir section 5.4.8).

3. EXIGENCES DE CONCEPTION

3.1. EXIGENCES ISSUES DU CLASSEMENT SURETE

3.1.1. Classement sûreté

Le système RCP doit être classé sûreté, selon la classification présentée dans le sous-chapitre 3.2.

3.1.2. Critère de défaillance unique (active et passive)

Le critère de défaillance unique s'applique aux composants assurant des fonctions F1.

Le maintien de l'étanchéité du primaire au niveau du GMPP doit être assuré par 2 moyens redondants et diversifiés :

- la barrière thermique refroidie par le système RRI,
- le DEA.

3.1.3. Alimentations secourues

L'alimentation électrique des composants du système RCP nécessaires à l'accomplissement des fonctions classées F1 doit être secourue par les groupes diesels principaux.

L'alimentation électrique des composants du système RCP nécessaires à l'accomplissement des fonctions classées F2 doit être secourue au cas par cas afin que ces dernières soient assurées si nécessaire en cas de perte des alimentations électriques externes.

3.1.4. Qualification aux conditions de fonctionnement

Les composants du système RCP assurant des fonctions F1 ou F2 doivent être qualifiés pour rester opérationnels dans les conditions de fonctionnement normales et post-accidentelles pour lesquelles ils sont requis. Les exigences qui en résultent pour les composants (intégrité, opérabilité, capacité fonctionnelle, ...) sont présentées dans les sous-chapitres 3.1, section 3.6.1.1 et sous-chapitre 3.7.

3.1.5. Classement équipements mécaniques, électriques et de Contrôle Commande

Les classements mécaniques, électriques et du contrôle commande doivent suivre les règles formulées dans le sous-chapitre 3.2. Le classement ESPN du système RCP doit suivre les règles de classement présentées dans la section 3.6.2.

En particulier, le CPP est classé N1 selon l'arrêté ESPN.

3.1.6. Classement sismique

Le système RCP doit être classé sismique, selon la classification présentée dans le sous-chapitre 3.2.

3.2. AUTRES EXIGENCES REGLEMENTAIRES

3.2.1. Textes officiels

L'adaptation à la loi Française de la Directive Européenne 2014/68/UE sur les équipements sous pression a conduit à l'élaboration des textes suivants :

- décret n° 2016-1925 du 28 décembre 2016 relatif au suivi en service des appareils à pression,
- arrêté du 20 novembre 2017 relatif au suivi en service des équipements sous pression et des récipients à pression simples,
- arrêté du 30 décembre 2015 modifié (aussi appelé arrêté ESPN) relatif aux équipements sous pression nucléaires,

- arrêté du 10 novembre 1999 modifié relatif à la surveillance de l'exploitation du Circuit Primaire Principal et des Circuits Secondaires Principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression (en particulier les exigences des annexes 1 et 2),
- circulaire du 10 novembre 1999 relative à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression.

La lettre « Options de Sûreté du projet de réacteur EPR » (DSIN 079/2000) est aussi applicable au système RCP.

3.2.2. Règles fondamentales de sûreté

L'application des RFS est présentée au sous-chapitre 1.7.

3.2.3. Directives techniques

Les exigences spécifiques au système RCP sont présentées dans les sections B1.2, B2.3.6 et F1.2.1 (voir sous-chapitre 1.7).

3.2.4. Textes spécifiques aux réacteurs EPR

Aucun.

3.3. AGRESSIONS INTERNES / EXTERNES

3.3.1. Agressions internes

Les fonctions du système RCP doivent être protégées vis-à-vis des conséquences des agressions internes si leur perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.4.

3.3.2. Agressions externes

Les fonctions du système RCP doivent être protégées vis-à-vis des conséquences des agressions externes si leur perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.3.

4. TESTS

essais pré opérationnels

Des essais pré opérationnels doivent être effectués afin de s'assurer de la conception adéquate du circuit primaire et de ses performances, avant sa mise en service industrielle.

Notamment, le circuit primaire doit faire l'objet d'épreuves hydrauliques réglementaires, telles qu'exigées par l'Arrêté Exploitation du 10 novembre 1999 modifié et l'Arrêté ESPN.

essais périodiques et surveillance en exploitation

Le circuit primaire principal doit faire l'objet d'une surveillance en exploitation, telle qu'exigée par l'arrêté Exploitation du 10 novembre 1999 modifié.

Des essais périodiques réguliers doivent être effectués sur le système RCP pour vérifier le respect des critères de sûreté.

L'implantation et la conception des équipements du système RCP doivent permettre l'exécution de contrôles en fonctionnement et d'essais périodiques pour vérifier la capacité des composants à remplir leurs fonctions de sûreté.

Le contrôle en fonctionnement doit être effectué aux endroits les plus susceptibles de présenter des défauts en fonctionnement. La conception et la disposition des boucles primaires doivent permettre l'accessibilité pour les tests ou contrôles avec une exposition limitée du personnel.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 0

PAGE 7/7

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Les conséquences d'une éventuelle perte d'intégrité du circuit primaire principal doivent être limitées autant que possible (principe de non aggravation de l'incident). Dans ce but, un système de détection de fuite doit être mis en place afin de détecter le taux de fuite résultant de la présence d'un défaut traversant stable, avec des alarmes retransmises en salle de commande. Cette détection de fuite sert à mettre la tranche en état sûr avant qu'une rupture complète de la tuyauterie ne se produise éventuellement.

Les fuites non-quantifiées et globales du circuit primaires doivent être estimées par un bilan de fuite.

Outre les paramètres thermodynamiques, la chimie de l'eau, les fuites primaires potentielles et l'irradiation de l'acier de la cuve du réacteur doivent être surveillés.

SOMMAIRE

.5.1 DESCRIPTION DU CIRCUIT PRIMAIRE	3
1. RÔLE FONCTIONNEL	3
2. HYPOTHÈSES DE CONCEPTION ET CARACTÉRISTIQUES DU	
FLUIDE	4
2.1. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES POUR LA CONCEPTION DU	
SYSTÈME	4
2.2. CARACTÉRISTIQUES DU FLUIDE DU RCP	6
3. SCHÉMAS DE PRINCIPE ET CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES	
ÉQUIPEMENTS	6
3.1. SCHÉMAS DE PRINCIPE	6
3.2. CLASSEMENT DE SÛRETÉ	6
3.3. CUVE	6
3.4. TUYAUTERIES DU CIRCUIT PRIMAIRE	7
3.5. PRESSURISEUR	7
3.6. POMPES PRIMAIRES	8
3.7. GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	10
4. DESCRIPTION DES ÉTATS	10
5. FONCTIONS DE RÉGULATION DU RCP	12
5.1. RÉGULATION DE LA PRESSION DU RCP	12
5.2. RÉGULATION DU NIVEAU DU PRESSURISEUR	13
5.3. RÉGULATION DU NIVEAU DANS LES BOUCLES	14
5.4. RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE DU RCP	14
6. DISPOSITIONS PRISES POUR L'INSTALLATION DES COMPOSANTS	
PRIMAIRE	14



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 1

PAGE 2/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIGURES :

FIG-5.1.1 SCHÉMAS DE PRINCIPE DU RCP 16

**FIG-5.1.2 TEMPÉRATURE BOUCLE ET PRESSION SECONDAIRE -AU
DÉBIT BEST ESTIMATE - EN FONCTION DE LA PUISSANCE 21**

**FIG-5.1.3 VOLUME ET NIVEAU D'EAU (% GAMME DE MESURE) DU
PRESSURISEUR EN FONCTION DE LA PUISSANCE 22**

.5.1 DESCRIPTION DU CIRCUIT PRIMAIRE

1. RÔLE FONCTIONNEL

Le circuit primaire (RCP) remplit les fonctions suivantes :

- 1) **Barrière contre les effets de la radioactivité**
Le RCP sert de barrière contre la fuite de produits radioactifs dans le cas d'une rupture de gaine combustible.
- 2) **Transfert de chaleur du réacteur – refroidissement du cœur**
La principale fonction du RCP est de transférer la chaleur du cœur du réacteur au circuit secondaire pour produire la vapeur servant au fonctionnement de la turbine.
La puissance thermique est transférée du cœur aux générateurs de vapeur par le fluide caloporteur primaire.
La chaleur est échangée avec l'eau secondaire dans les générateurs de vapeur où la vapeur est générée puis acheminée vers la turbine par les tuyauteries vapeur.
Les pompes primaires (PP) assurent un débit de fluide caloporteur primaire suffisant pour refroidir le cœur du réacteur et permettre de limiter la température des crayons combustible afin de préserver l'intégrité des gaines.
Les circuits participant à la fonction de refroidissement du cœur sont :
 - le circuit de vapeur principal (VVP, décrit dans le sous-chapitre 10.3), le circuit de décharge à l'atmosphère (VDA, décrit dans le sous-chapitre 6.8), le circuit de contournement turbine (GCT), le circuit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur (ARE, décrit dans le sous-chapitre 10.6), le circuit d'eau alimentaire de démarrage et d'arrêt (AAD), qui sont tous des circuits utilisés en fonctionnement normal,
 - le circuit de refroidissement à l'arrêt RIS/RA (utilisé pendant l'arrêt),
 - le circuit d'alimentation de secours des Générateurs de Vapeur (ASG, décrit dans le sous-chapitre 6.6), en cas de perte de l'eau alimentaire ou du circuit d'eau alimentaire de démarrage et d'arrêt,
 - le circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV, décrit dans la section 9.3.2), pour conserver l'inventaire d'eau primaire et compenser les petites fuites du RCP en fonctionnement normal,
 - l'injection de sécurité (RIS-RA en mode IS, décrit dans le sous-chapitre 6.3) :
 - pour conserver l'inventaire du fluide primaire en cas de brèche primaire,
 - pour évacuer la chaleur en soutien du système d'évacuation de la puissance résiduelle (EVU, décrit dans la section 6.2.7),
 - pour évacuer la chaleur en cas de perte complète des fonctions d'évacuation de la puissance.
- 3) **Modérateur de neutrons**
Le fluide primaire, contenu dans le RCP, est utilisé comme modérateur de neutrons afin de réduire la vitesse des neutrons et de les thermaliser.

4) Contrôle de la réactivité

Le fluide caloporteur primaire sert de solvant pour l'acide borique (on utilise de l'eau déminéralisée). L'acide borique est utilisé lors de la régulation de la réactivité pour compenser les effets des transitoires de xénon, de l'usure du combustible et assurer la sous-criticité lors de l'arrêt de la chaudière.

Les systèmes participant à la fonction de régulation de la réactivité sont :

- les grappes de contrôle,
- le circuit de contrôle chimique et volumétrique (en conjonction avec le REA) pour ajuster la concentration en acide borique en fonctionnement normal,
- l'injection de sécurité,
- le système de borication de secours.

5) Régulation de la pression primaire

La pression primaire doit être supérieure à la pression de saturation correspondant à la température de la branche chaude afin d'empêcher d'entrer en crise d'ébullition, qui nuirait à l'échange thermique et à la maîtrise de la réactivité.

La marge à la saturation de la branche froide doit être suffisamment faible pour minimiser les efforts exercés sur les équipements internes de la cuve en cas de brèche primaire.

Lorsque le fluide primaire est diphasique, la régulation de la pression primaire est effectuée dans le pressuriseur connecté à une branche chaude du RCP par l'intermédiaire de la ligne d'expansion.

2. HYPOTHÈSES DE CONCEPTION ET CARACTÉRISTIQUES DU FLUIDE**2.1. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES POUR LA CONCEPTION DU SYSTÈME****1) Fonction transfert de chaleur du réacteur – refroidissement du cœur**

En fonctionnement normal, la fonction de refroidissement du cœur est assurée par la circulation du fluide caloporteur et le transfert de chaleur aux générateurs de vapeur.

Le système est conçu avec quatre boucles pour assurer l'écoulement du fluide caloporteur, chaque boucle étant connectée à la cuve. Le cœur se trouve à l'intérieur de la cuve.

Le système est dimensionné pour une puissance chaudière de 4500 MWth, la puissance prévue lors de la mise en service est de 4300 MWth.

Dans chaque boucle, le fluide caloporteur circule :

- de la cuve vers le générateur de vapeur (GV) via la tuyauterie « branche chaude »,
- du GV vers la pompe primaire (PP) via la tuyauterie « branche en U »,
- de la PP vers la cuve via la tuyauterie « branche froide ».

Dans des conditions normales, la circulation forcée est assurée par les quatre pompes primaires, mais en cas d'indisponibilité totale des pompes, la chaleur résiduelle est évacuée par circulation naturelle dans le cœur.

Au cours de l'arrêt, lorsque les générateurs de vapeur ne sont pas capables de fonctionner, la fonction de refroidissement du cœur est assurée par le système RIS-RA en mode RA. Le fluide caloporteur primaire est pompé dans la branche chaude et réinjecté dans la branche froide après refroidissement.

En cas de brèche primaire ou d'évacuation de la chaleur résiduelle à long terme en cas d'accident, la fonction de refroidissement du cœur est assurée par le RIS-RA en mode IS ou en mode RA.

En cas de perte totale des fonctions d'évacuation de la chaleur, le refroidissement du cœur peut être assuré par l'injection de sécurité en conjonction avec la décharge du pressuriseur vers le bâtiment réacteur (le circuit de décharge du pressuriseur est décrit dans la section 5.4.5).

En fonctionnement normal, l'inventaire du fluide caloporteur est régulé par le circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV). En cas de brèche primaire, non compensable par le RCV, il est assuré par le RIS-RA en mode IS.

En cas de perte de l'alimentation extérieure, l'inertie des pompes primaires permet un transitoire de débit préservant l'intégrité de la gaine combustible.

2) Fonction de ralentissement des neutrons (modérateur)

Cette fonction est assurée par le fluide caloporteur contenu dans le RCP.

La masse totale de réfrigérant est régulée par le RCV (ligne de décharge et ligne de charge). Le pressuriseur absorbe les changements de volume de réfrigérant lors des transitoires.

3) Fonction de régulation de la réactivité

La réactivité est régulée par :

- les grappes de contrôle,
- la concentration en acide borique du réfrigérant, contrôlée par le RCV (en conjonction avec le REA),
- l'injection de sécurité en cas de brèche primaire ou ruptures du côté secondaire (grâce à l'utilisation des pompes ISMP),
- le système de borication de secours (RBS), qui fournit un moyen de borication de sécurité pour atteindre l'état d'arrêt sûr.

4) Fonction de barrière

Tout le circuit primaire sert de barrière contre les fuites de produits radioactifs.

En particulier, les fuites le long de l'arbre des pompes primaires sont contrôlées par un système d'étanchéité spécifique comportant :

- le RCV pour assurer une injection assurant l'étanchéité des joints et une reprise des fuites,
- le RRI pour assurer le refroidissement du fluide caloporteur s'écoulant en direction des joints,
- un dispositif d'étanchéité à l'arrêt (DEA) qui peut être activé lorsque la pompe est arrêtée.

5) Fonction de régulation de la pression primaire

Lorsque le fluide primaire est diphasique, la régulation de la pression primaire est assurée par le pressuriseur connecté à la branche chaude de la boucle 3 par la ligne d'expansion.

Dans le pressuriseur, l'eau et la vapeur sont maintenues à saturation.

La régulation de la pression dans le pressuriseur est obtenue grâce :

- aux chaufferettes électriques afin de vaporiser de l'eau et d'augmenter la pression primaire.
- à deux lignes d'aspersion normale d'eau froide dans la phase vapeur du pressuriseur afin de condenser la vapeur et de diminuer la pression primaire.

Les lignes d'aspersion normale sont connectées aux branches froides des boucles 2 et 3 (le débit d'aspersion est fourni par les pompes primaires et régulé par les vannes d'aspersion).

Si ces deux lignes d'aspersion normales ne sont pas suffisantes pour réguler la pression primaire ou en cas de perte ou d'arrêt des PP, une ligne d'aspersion auxiliaire, utilisant les pompes du RCV, est connectée au pressuriseur.

Un circuit de décharge, comportant notamment des soupapes de sûreté, est monté sur le pressuriseur (voir section 5.4.5).

6) Fonction de limitation du terme source débris

En complément de la séparation physique du bâtiment réacteur en deux parties compartimentées, de l'absence d'exigence d'aspersion de solution de soude dans l'enceinte en APRP, le circuit primaire participe à la fonction de limitation du terme source débris de par l'amélioration de la conception de son calorifuge par rapport aux REP du parc EDF. Cette fonction vise à empêcher le bouchage des filtres puisards.

Les principes retenus pour remplir cette fonction sont :

- L'extension de l'utilisation de cassettes en particulier sur les Générateurs de Vapeur et le pressuriseur à la place de matelas.
- Le renforcement des cassettes et l'amélioration du système de fixation des cassettes sur les générateurs de vapeur et le pressuriseur.
- La limitation de l'utilisation de microtherm.

2.2. CARACTÉRISTIQUES DU FLUIDE DU RCP

Les données se rapportant au circuit primaire sont les suivantes :

- Pression de fonctionnement du RCP = 155 bar abs dans le pressuriseur en état de Réacteur en Production (RP) et en Arrêt à Chaud (AAC).
- Pression de calcul du RCP = 176 bar abs.
- Débit de la cuve du RCP : 3 valeurs sont utilisées pour les différentes études (sans bouchage et avec des tubes propres) :
 - Débit best estimate (BE) : débit nominal correspondant à l'intersection entre la courbe caractéristique des PP (débit-hauteur) et la courbe caractéristique du RCP, sans marge,
 - Débit thermo-hydraulique (TH) : débit minimum, utilisé pour l'étude des performances du cœur, prenant en compte les incertitudes relatives à la courbe des PP (débit-hauteur) et la précision de la mesure du débit du fluide caloporteur primaire,
 - Débit mécanique (ME) : débit maximum, utilisé pour le dimensionnement mécanique des équipements internes de la cuve et des assemblages combustibles.

Les paramètres de fonctionnement du circuit primaire pour une puissance chaudière de 4300 MWth et sans bouchage ou encrassement des tubes GV, sont indiqués ci-après.

□

3. SCHÉMAS DE PRINCIPE ET CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES ÉQUIPEMENTS

3.1. SCHÉMAS DE PRINCIPE

Les schémas de principe du circuit primaire sont donnés sur la figure [FIG-5.1.1](#).

3.2. CLASSEMENT DE SÛRETÉ

Les parties du système RCP jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1

3.3. CUVE

La cuve est cylindrique, avec un fond hémisphérique inférieur soudé et un fond hémisphérique supérieur à bride, démontable et comportant deux joints d'étanchéité. La cuve est conçue pour contenir le cœur du réacteur (volume suffisant), les grappes de contrôle et les équipements internes. La cuve comporte quatre tubulures d'entrée et quatre tubulures de sortie sur un plan horizontal juste sous la bride de la cuve mais au-dessus du haut du cœur. Le réfrigérant provenant des branches froides pénètre dans la cuve via les piquages d'entrée et s'écoule vers le bas entre l'enveloppe du cœur et la paroi de la cuve jusqu'au fond de la cuve, et remonte dans le cœur vers les piquages de sortie qui l'amènent vers les branches chaudes.

Le couvercle de la cuve supporte les mécanismes de commande des grappes de contrôle et les systèmes de surveillance du cœur.

La bride et le couvercle de la cuve sont rendus étanches grâce à deux joints d'étanchéité métalliques. Les éventuelles fuites des joints sont détectées au moyen d'une reprise des fuites entre les joints intérieurs et extérieurs.

L'évent du couvercle de la cuve peut être connecté à la pompe à vide du RPE lors du remplissage de la cuve.

Il est possible d'injecter de l'azote ou de l'air via l'évent de la cuve pour le balayage du RCP avant l'ouverture.

3.4. TUYAUTERIES DU CIRCUIT PRIMAIRE

Les tuyauteries du circuit primaire comportent :

- Quatre boucles d'échange thermique, numérotées de 1 à 4, chacune comportant une branche chaude reliant la cuve au GV, une branche en U reliant le GV aux PP et une branche froide reliant les PP à la cuve.
- La ligne d'expansion du pressuriseur reliant le pressuriseur à la branche chaude 3.
- Deux lignes d'aspersion du pressuriseur reliant les tubulures d'aspersion normale aux branches froides 2 et 3.
- La ligne de dégazage du pressuriseur.
- Les lignes connectées au dispositif de joints des GMPP.
- Piquages de connexions d'évent et de purge.
- Piquages d'alimentation en azote ou air vers le pressuriseur et le joint n°1 des pompes primaires.
- Piquage de connexion de la pompe à vide sur le pressuriseur pour le remplissage et le balayage du circuit primaire.
- Piquages de connexions du circuit d'échantillonnage.
- Piquage de reprise des fuites de la cuve.
- Piquages d'instrumentation.

Les tuyauteries du circuit de décharge du pressuriseur sont traitées dans la section 5.4.5.

Connexions aux circuits auxiliaires

- RIS-RA :
 - 1 piquage par branche chaude, utilisé pour l'injection du RIS-RA en mode IS en branche chaude et pour l'aspiration du RIS-RA en mode RA,
 - 1 piquage par branche froide, utilisé pour l'injection par le RIS (ISMP en branche froide, ISBP en mode IS en branche froide et en mode RA, accumulateur) et par le RBS,
- RCV
 - 1 piquage sur les branches froides 2 et 4 (appoint du RCV sur 2 boucles),
 - 1 piquage sur la branche en U n°1 (décharge du RCV sur 1 boucle),
 - 1 piquage sur le pressuriseur pour la ligne d'aspersion auxiliaire.

3.5. PRESSURISEUR

1) Description générale

Le pressuriseur est un réservoir vertical, cylindrique avec un fond supérieur et un fond inférieur hémisphériques.

Le fond inférieur accueille les chaufferettes installées verticalement dans le fond du pressuriseur.

Un piquage pour la ligne d'expansion est implanté dans la direction axiale, au centre du fond inférieur.

La ligne d'expansion est connectée à la branche chaude de la boucle 3.

Des soupapes de sûreté et des vannes de décharge dédiées au « gavé-ouvert » et aux accidents graves sont connectées sur le fond supérieur. Par souci de clarté, les vannes dédiées aux accidents graves et au « gavé-ouvert » seront appelées « SAV » au sein du sous-chapitre 5.1. Cependant, les lignes dédiées respectivement aux accidents graves et au « gavé-ouvert » seront

différenciées afin de préciser les exigences propres à chaque fonction. Les soupapes de sûreté, les SAV, les lignes dédiées aux accidents graves et les lignes dédiées au gavé-ouvert sont décrites dans la section 5.4.5.

Les lignes d'aspersion normale sont connectées latéralement à la partie supérieure de la virole cylindrique du pressuriseur.

L'aspersion d'eau froide se fait dans la phase vapeur via les buses d'aspersion se trouvant à l'extrémité des lignes d'aspersion.

2) Chauffelettes du pressuriseur

La puissance totale de chauffage est partagée entre :

- les chauffelettes proportionnelles,
- les chauffelettes Tout Ou Rien secourues,
- les chauffelettes Tout Ou Rien non secourues.

3) Système d'aspersion du pressuriseur

Le pressuriseur est équipé de trois tubulures d'aspersion distinctes :

- deux pour l'aspersion normale,
- une pour l'aspersion auxiliaire.

Les tubulures d'aspersion normale sont reliées aux lignes d'aspersion normale connectées aux branches froides des boucles 2 et 3.

Le débit d'aspersion de chaque ligne d'aspersion normale peut être activé par une vanne d'aspersion pouvant fonctionner en mode réglant et en mode tout ou rien.

Un débit d'aspersion continu est assuré dans chaque ligne d'aspersion normale (lorsque les pompes primaires fonctionnent) par des vannes réglantes manuelles dédiées.

La ligne d'aspersion normale connectée à la boucle 3 est reliée à la ligne d'éventage du pressuriseur par la ligne de refroidissement du sommet du pressuriseur. Cette dernière est utilisée lors du passage du circuit primaire en monophasique, elle est contrôlée par deux vannes d'isolement.

Une tubulure d'aspersion auxiliaire est reliée au RCV.

4) Circuit d'éventage et de dégazage du pressuriseur

Une ligne d'éventage relie le pressuriseur au RPE.

Une liaison vers le RPE et une ligne de dégazage (vers le RPE) sont connectées à cette ligne d'éventage. Une ligne d'alimentation en azote est également connectée à cette ligne.

La liaison vers le RPE est utilisée pour abaisser la pression du RCP à une valeur inférieure à la pression atmosphérique à l'aide d'une pompe à vide dédiée lors du remplissage initial (la pompe fait partie du système RPE). Cette liaison et la pompe à vide sont également utilisées pour le balayage à l'azote ou à l'air du RCP lorsque le niveau du circuit primaire est abaissé jusqu'au niveau ¾ de boucle (extraction des gaz nobles avant l'ouverture du RCP).

La ligne de dégazage du pressuriseur est composée de trois lignes distinctes :

- une ligne à petit débit utilisée en permanence pour éviter une accumulation d'hydrogène trop importante dans le ciel gazeux du pressuriseur,
- une ligne spécifique à la phase de collapsage de la bulle du pressuriseur ,
- une ligne à grand débit utilisée lors de l'arrêt pour éliminer les gaz piégés dans le pressuriseur,.

Les trois lignes sont utilisées simultanément lors des essais périodiques de manoeuvrabilité des soupapes de sûreté du pressuriseur afin de limiter la quantité d'H₂ transférée au RDP.

Les gaz sont envoyés vers le TEG (système de traitement des effluents gazeux) via le système RPE.

La ligne d'alimentation en azote est utilisée après la dépressurisation du circuit primaire pour permettre de poursuivre la vidange du pressuriseur sans mise sous vide du circuit primaire.

3.6. POMPES PRIMAIRES

1) Description générale

La pompe primaire est une pompe verticale à un étage conçue pour faire circuler un grand débit de réfrigérant primaire à haute température.

Le système d'étanchéité de l'arbre permet d'éviter toute fuite primaire vers l'enceinte de confinement. Le moteur est un moteur triphasé à refroidissement par air.

L'unité complète est un assemblage vertical composé (de haut en bas) d'un volant d'inertie, d'un moteur, d'un ensemble d'étanchéité et d'un ensemble hydraulique.

Le fluide primaire est pompé par une roue fixée au bas de l'arbre. Il pénètre dans la tubulure d'aspiration de la volute, est dirigé vers la roue par le guide d'eau, est pompé à travers la roue, et ressort au travers du diffuseur puis de la tubulure de refoulement.

Les pompes primaires sont conçues pour fournir un débit suffisant pour obtenir un refroidissement satisfaisant du cœur.

La hauteur manométrique totale des pompes est dimensionnée par la perte de charge dans les boucles primaires (cuve, générateurs de vapeur et tuyauterie).

Les pompes primaires sont décrites dans la section 5.4.1.

2) Système d'étanchéité des arbres

L'eau d'injection au joint n° 1 de la pompe primaire est fournie par le RCV.

La fuite du joint n° 1 est reprise par le RCV (via vers la ligne de décharge du RCV). Néanmoins, suivant les situations, la fuite du joint n° 1 peut également être lignée vers le RPE (primaire à basse pression) ou vers l'IRWST (certains PCCet RRC-A).

Les pressions en amont et en aval du joint n° 1 peuvent être rendues égales grâce à la ligne de contournement du joint. La ligne de contournement n'est ouverte que lors du remplissage sous vide du RCP pour protéger le joint n° 1 contre une différence de pression négative.

Les fuites du joint n° 2 sont drainées vers les drains primaires (partie du RPE).

Le joint n° 3 est mouillé en permanence avec de l'eau déminéralisée provenant du système de production d'eau déminéralisée.

Les fuites du joint n° 3 sont évacuées vers les drains de plancher (partie du RPE).

Des vannes d'isolement sont montées sur les 3 lignes de reprise des fuites.

Le « dispositif d'étanchéité à l'arrêt » (DEA) constitue le dispositif d'étanchéité ultime du système d'étanchéité de l'arbre (lorsque la PP est arrêtée). Le DEA est aussi sollicité, au titre de la défense en profondeur, en cas de défaillance simultanée des joints des GMPP. Le DEA est à commande pneumatique (azote) et est en position ouverte lors du fonctionnement normal de la pompe. Lorsque la mise en place du DEA est demandée en situation RRC-A, la séquence suivante est initiée :

- les fuites du joint N°1 sont relignées vers l'IRWST, puis la ligne de fuite du joint n°1 est isolée,
- une fois que la vitesse de rotation de la pompe primaire est très faible, la connexion avec le réservoir d'azote est effectuée par l'ouverture d'une vanne d'isolement, ce qui provoque la fermeture du DEA,
- les vannes d'isolement des lignes de fuite des joints sont ensuite fermées dans l'ordre suivant : isolement de la ligne de fuite du joint N°3, du joint N°2 puis la ligne de relignage de la fuite du joint N°1 vers l'IRWST,
- les vannes de la ligne du by-pass des lignes de fuites des joints n°1 et n°3 sont ouvertes.

Le DEA peut alors être maintenu en place par la pression du RCP même en cas de perte de la pression d'azote.

3) Interface du système de réfrigération intermédiaire (RRI)

Les pompes primaires sont équipées de réfrigérants alimentés par le RRI pour :

- le refroidissement du moteur (deux aéro-réfrigérants par pompe),
- le refroidissement du palier supérieur et inférieur du moteur (un réfrigérant d'huile par palier).

La barrière thermique de la pompe, elle aussi refroidie par le RRI, assure le refroidissement du fluide primaire arrivant sur les joints en cas d'une défaillance de l'injection au joint n°1.

3.7. GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

Les générateurs de vapeur sont des évaporateurs à virole verticale et à tubes en U inversés équipés d'un ensemble de séchage intégré. Ils sont également équipés d'un préchauffeur (ou économiseur) axial pour obtenir une pression de vapeur plus importante.

Le fluide primaire circule dans les tubes en U inversés, arrivant et sortant par les tubulures se trouvant sur la boîte à eau (fond hémisphérique inférieur) du générateur de vapeur. Le fond inférieur est divisé en deux (chambre d'entrée et chambre de sortie) par une plaque de séparation verticale (plaque de partition) partant de la plaque tubulaire. Des trous d'hommes permettent d'accéder aux deux côtés de la boîte à eau.

La chaleur véhiculée par le fluide primaire est transférée au fluide secondaire via les parois des tubes du faisceau tubulaire.

Du côté secondaire, l'eau alimentaire est acheminée vers le côté froid de la plaque tubulaire par une double enveloppe dans laquelle l'eau alimentaire est injectée par un demi-tore de distribution associé à un déflecteur.

L'enveloppe de l'économiseur et le tore de distribution d'eau alimentaire ne couvrent que la moitié de la plaque tubulaire correspondant au côté froid. Une plaque de séparation sépare la branche chaude et la branche froide du faisceau tubulaire (de la plaque tubulaire jusqu'à la 6ème plaque entretoise). Une fois que l'eau alimentaire atteint le bas du côté froid, l'eau remonte le long du faisceau tubulaire de la branche froide et est chauffée jusqu'à ébullition. Le mélange eau-vapeur remonte, traverse les séparateurs et sécheurs et ressort du générateur de vapeur par la tubulure de sortie se trouvant sur le fond supérieur elliptique du GV.

L'eau provenant des séparateurs et des sécheurs est recyclée :

- 90 % du côté chaud du faisceau tubulaire où elle est évaporée,
- 10 % mélangée à l'eau alimentaire du côté de la branche froide du faisceau tubulaire.

4. DESCRIPTION DES ÉTATS

Les différents régimes de fonctionnement du système RCP en fonctionnement normal de la tranche sont présentés selon les différents domaines d'exploitation de la tranche.

Réacteur en Production (RP)

Les conditions de fonctionnement couvrent une gamme de puissance allant de 0% à 100% de la puissance nominale :

- Réacteur en puissance,
- Réacteur à puissance réduite,
- Attente à chaud,
- Recherche de la criticité.

La puissance thermique est évacuée par les générateurs de vapeur, la source froide correspond au circuit secondaire.

La température de la branche chaude, de la branche froide et, par conséquent, la température moyenne dépendent du niveau de puissance conformément au diagramme présenté sur la figure [FIG-5.1.2](#).

La pression du pressuriseur est réglée à 155 bar abs, quelle que soit le niveau de puissance.

Le volume d'eau du pressuriseur dépend du niveau de puissance, comme indiqué sur la figure [FIG-5.1.3](#).

La pression du côté secondaire du générateur de vapeur dépend de la charge comme indiquée sur la figure [FIG-5.1.2](#).

Les valeurs données sur les figures [FIG-5.1.2](#) et [FIG-5.1.3](#) sont basées sur la valeur BE du débit primaire, avec quatre pompes primaires en fonctionnement pour un fonctionnement de la chaudière de 4300 MWth sans prise en compte de tubes bouchés.

Arrêt normal sur GV (AN/GV)

Les conditions de fonctionnement couvrent une gamme de pression et température correspondant aux états standards suivants :

- Arrêt à chaud (AAC),
- Arrêt intermédiaire sur GV,
- Arrêt intermédiaire sur GV aux conditions de connexion RIS-RA en mode RA.

Le réacteur est sous-critique, la puissance thermique est évacuée par les générateurs de vapeur qui sont refroidis par le contournement au condenseur ou si celui-ci est indisponible par le circuit de décharge à l'atmosphère (VDA). Les quatre pompes primaires sont en service.

La température primaire évolue entre une température de 303,3° C (AAC) et 120° C température normale de connexion du système RIS-RA en mode RA. La pression du pressuriseur est régulée en fonction de la température primaire par les chaufferettes et l'aspersion normale. La pression évolue entre 155 bar abs (AAC) et aux alentours de 25-27 bar abs lors de la connexion au système RIS-RA.

Arrêt Normal RIS-RA (AN/RIS-RA)

Les conditions de fonctionnement couvrent une gamme de pression et température correspondant aux états standards suivants :

- Arrêt intermédiaire diphasique sur RIS-RA en mode RA,
- Arrêt intermédiaire monophasique sur RIS-RA en mode RA,
- Arrêt à froid normal, primaire dépressurisé.

Le réacteur est sous-critique, la puissance thermique est évacuée par le RIS-RA en mode RA (2 à 4 trains suivant les états) par l'intermédiaire de la chaîne RIS-RA/RRI/SEC. Le circuit primaire est fermé (ou entrouvert) et pressurisable pour permettre d'utiliser les GV afin d'évacuer la puissance résiduelle en cas de problème sur le RIS-RA.

Le nombre de pompes primaires en service varie de 0 à 4 suivant les états et la pression du circuit primaire. Au moins une pompe primaire doit être en service lorsque la température primaire est supérieure à 55°C. La température moyenne varie entre 15°C et 120°C.

Après l'arrêt de tous les GMPP, la dépressurisation du circuit primaire est réalisée jusqu'à la pression atmosphérique par l'intermédiaire du RCV. La dépressurisation s'effectue par le poste de décharge BP de la liaison RCV / RIS-RA en mode RA. La vidange du primaire est effectuée en mode manuel, au moins jusqu'au niveau du plan de joint de cuve. La régulation du niveau boucle par la ligne BP du RCV assure ensuite la régulation du niveau primaire.

La protection contre les surpressions dans les états d'arrêt à froid est assurée par un ordre RPR qui commande l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur par des pilotes électriques.

En phase de redémarrage, lors de la mise sous vide, la pression est abaissée à \bar{P} pour réduire la quantité d'incondensable présents dans le circuit primaire. Cette opération est réalisée avec la pompe à vide du RPE connectée à l'évent du pressuriseur et de la cuve.

Arrêt Pour Intervention (API)

Lors de l'arrêt à froid pour intervention, le RCP est suffisamment ouvert pour ne pas être repressurisable ; les GV ne sont plus requis pour évacuer la puissance résiduelle. Le RCP est à la pression atmosphérique. Aucune pompe primaire n'est en service.

Les trains RIS-RA en mode RA en service assurent la régulation de la température primaire à une valeur inférieure à 55°C. La source froide est la chaîne RIS-RA en mode RA/RR/SEC.

Le niveau du fluide primaire est contrôlé par l'équilibre entre le débit de charge et de décharge du RCV. Le niveau est contrôlé entre piscine pleine et ¾ de boucle, permettant le fonctionnement du RIS-RA en mode RA avec un niveau d'eau RCP réduit.

Arrêt pour rechargement (APR)

Cet état correspond à l'état requis pour préparer et réaliser les opérations de manutention du combustible.

Le RCP est à la pression de l'enceinte (aucune pompe primaire en service). La cuve et la piscine sont pleines. La température primaire est maintenue entre 15°C et 55°C. L'évacuation de la puissance résiduelle est réalisée par les trains RIS-RA en mode RA connectés.

Réacteur Complètement Déchargé (RCD)

Tout le combustible a été déchargé de la cuve et transféré dans la piscine combustible. Aucun train RIS/RA n'est requis.

Les opérations de maintenance peuvent être réalisées sur les composants primaires. La vidange pour effectuer ces interventions est réalisée en fonction des niveaux requis : premièrement par le système de Retraitement et de Refroidissement de l'eau des Piscines (PTR) vers l'IRWST pour la piscine réacteur, puis par le système RCV vers le TEP pour le circuit primaire.

5. FONCTIONS DE RÉGULATION DU RCP**5.1. RÉGULATION DE LA PRESSION DU RCP**

La régulation de la pression du RCP contribue :

- à la protection contre les surpressions du RCP,
- au confinement des matières radioactives en prévenant l'activation des soupapes de sûreté du pressuriseur,
- au transfert de chaleur du réacteur – refroidissement du cœur et de régulation de la réactivité en maintenant la pression du RCP au-dessus de la pression de saturation en branche chaude.

La régulation de la pression du RCP est basée sur la comparaison entre la pression primaire mesurée et la consigne de pression et l'envoi d'un signal de commande aux actionneurs de régulation. Lorsque le fluide primaire est diphasique, ces actionneurs sont :

- les chaufferettes du pressuriseur pour augmenter la pression en chauffant la phase liquide du pressuriseur,
- les robinets d'aspersion pour diminuer la pression en refroidissant la phase vapeur via l'aspersion d'eau.

Seules les chaufferettes régulées en continu et les vannes d'aspersion normale en mode réglant participent à la régulation de la pression du RCP lors de petits écarts par rapport au seuil de pression de référence.

Les chaufferettes Tout Ou Rien et les vannes d'aspersion normale en mode tout ou rien ne sont activées qu'en cas d'écart important par rapport à ce point de consigne.

Les mesures de pression du RCP participent à l'établissement du seuil des alarmes et des fonctions de limitation visant à empêcher l'activation des fonctions de contrôle commande et de protection automatisée.

Ces seuils hauts ou bas de pression du RCP génèrent des alarmes ou des actions de limitation automatiques telles que :

- mise en marche/arrêt des chaufferettes du pressuriseur (sur seuil bas),
- ouverture / isolement de l'aspersion normale et/ou auxiliaire (sur seuil haut),
- isolement de la ligne de charge du RCV ou arrêt des pompes de charge du RCV en fonctionnement (sur seuil haut) qui contribue à la régulation du niveau primaire.

Des alarmes sont également générées pour prévenir l'opérateur lorsque le gradient de dépressurisation devient trop élevé.

Lorsque le fluide primaire est monophasique, la régulation de la pression primaire est assurée par le poste de détente basse pression du RCV. La pression de consigne est alors définie par l'opérateur et la régulation de pression va ajuster le débit de décharge via la vanne de détente basse pression du RCV. Le déséquilibre entre le débit de charge et celui de décharge permet alors de contrôler la pression du primaire lorsqu'il est monophasique dans les phases d'arrêt et de démarrage de la tranche. Une ouverture (fermeture) de la vanne de détente va conduire à dépressuriser (pressuriser) le circuit primaire.

Les actions automatiques associées aux chaufferettes du pressuriseur et à l'aspersion normale et/ou auxiliaire sont alors inhibées. Les actions de limitation automatiques relatives à l'isolement de la ligne de charge du RCV ou l'arrêt des pompes de charge du RCV en fonctionnement (sur seuil haut) restent actives et contribuent à la régulation de pression primaire. En complément, des alarmes sont également générées pour prévenir l'opérateur lorsque le gradient de dépressurisation devient trop élevé.

Les mesures de pression du RCP (primaire diphasique ou monophasique) sont également utilisées pour activer les fonctions contrôle commande de protection (le système de protection du réacteur est décrit dans la section 7.3.1).

L'analyse des protections contre surpression à chaud est développée dans la section 3.6.3.1. L'analyse des protections contre surpression à froid est développée dans la section 3.6.3.2. L'analyse de la dépressurisation en situation d'accident grave est portée dans la section 5.4.5.

5.2. RÉGULATION DU NIVEAU DU PRESSURISEUR

La régulation du niveau du pressuriseur contribue au maintien de l'inventaire d'eau du RCP et donc à l'évacuation de la puissance.

La régulation est basée sur la comparaison entre le niveau mesuré du pressuriseur et le niveau de référence ainsi qu'à l'envoi d'un signal de commande à la soupape de régulation du débit de décharge haute pression du RCV.

Le niveau de référence du pressuriseur est fonction de la température du RCP et déterminé pour conserver une masse de fluide primaire constante pour des niveaux de puissance compris entre 0 et 100 %.

Les mesures de niveau du pressuriseur participent à l'établissement du seuil des alarmes et des fonctions de limitation visant à empêcher l'activation des fonctions contrôle commande de protection automatisée.

Ces seuils hauts ou bas de niveau du pressuriseur génèrent des alarmes ou des actions de limitation automatiques telles que :

- ouverture/fermeture du robinet de régulation du débit de décharge haute pression du RCV,
- démarrage de la deuxième pompe de charge du RCV (niveau bas),
- isolement de la ligne de charge du RCV (niveau élevé),
- isolement de la ligne de décharge RCV HP et BP (niveau bas),
- isolement de la ligne d'aspersion normale et/ou auxiliaire du pressuriseur (niveau élevé),
- arrêt des chaufferettes du pressuriseur (niveau bas).

Les mesures de niveau du pressuriseur sont également utilisées pour activer les fonctions contrôle commande de protection (le système de protection du réacteur est décrit dans la section 7.3.1).

5.3. RÉGULATION DU NIVEAU DANS LES BOUCLES

La régulation du niveau dans les boucles contribue à la régulation de l'inventaire d'eau du RCP et donc à l'évacuation de la puissance, lorsque le circuit primaire est au niveau $\frac{3}{4}$ boucle.

La régulation est basée sur la comparaison entre le niveau mesuré dans la boucle et le niveau de référence et l'envoi d'un signal de commande à la vanne de régulation du débit de décharge basse pression du RCV.

Le niveau de référence est déterminé de manière à garantir un inventaire en eau suffisant pour le fonctionnement du RIS-RA en mode RA et à satisfaire aux exigences de maintenance.

Les mesures de niveau des boucles participent à l'établissement du seuil des alarmes et des fonctions de limitation pour empêcher l'activation des fonctions contrôle commande de protection automatisée. Ces niveaux hauts ou bas du niveau de la boucle RCP génèrent des alarmes ou une action de limitation automatique telle que la fermeture du circuit de décharge basse pression du RCV (niveau bas).

Les mesures du niveau des boucles sont également utilisées pour activer la fonction de protection automatisée en cas de défaillance des moyens précédents (voir section 7.3.1).

5.4. RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE DU RCP

La régulation du niveau du générateur de vapeur contribue à la régulation de la température du circuit primaire.

La régulation est basée sur la comparaison entre la valeur mesurée et un point de consigne puis par l'envoi d'un signal de commande aux vannes de régulation d'alimentation en eau alimentaire.

Le seuil du niveau du générateur de vapeur est constant et indépendant de la puissance échangée par les générateurs de vapeur.

Sur haut niveau GV, la charge RCV est isolée. Cette disposition concourt à éviter le débordement en eau des GV en cas de RTGV.

Les mesures de niveau des générateurs de vapeur sont également utilisées pour activer les fonctions contrôle commande de protection automatisée (le système de protection du réacteur est décrit dans la section 7.3.1).

6. DISPOSITIONS PRISES POUR L'INSTALLATION DES COMPOSANTS PRIMAIRES

Pour l'ensemble des composants primaires, les grandes catégories de dispositions prises pour l'installation sont les suivantes :

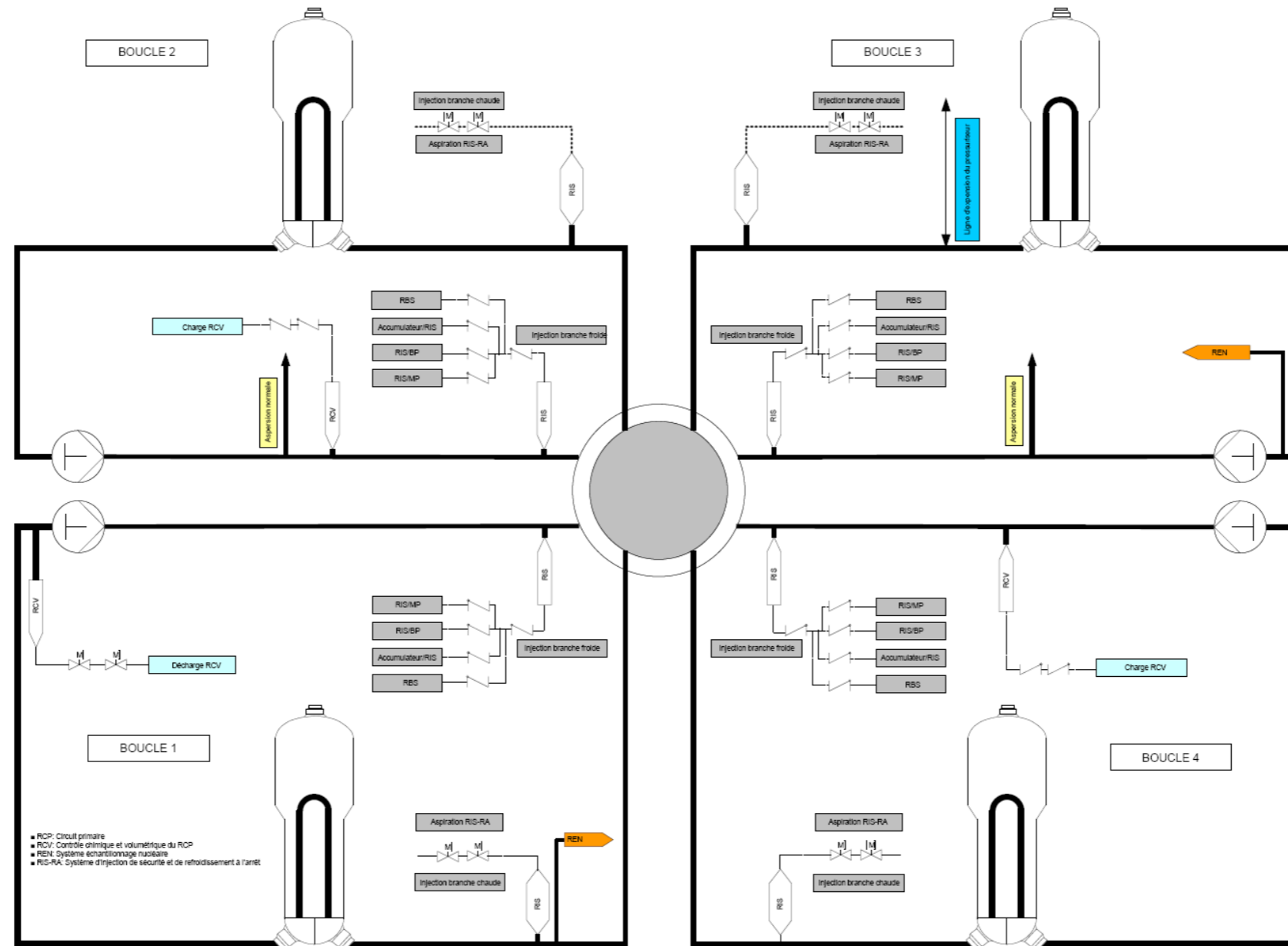
- dispositions relatives au conditionnement, au stockage temporaire et à la conservation,
- dispositions liées au transport,
- dispositions liées au déconditionnement et au montage sur site,
- dispositions liées à l'encombrement nécessaire à l'installation, à la manutention et à l'utilisation des engins adaptés,
- dispositions relatives au positionnement des supportages,
- dispositions relatives au raccordement des équipements et à leur intégration dans l'ensemble CPP/CSP.

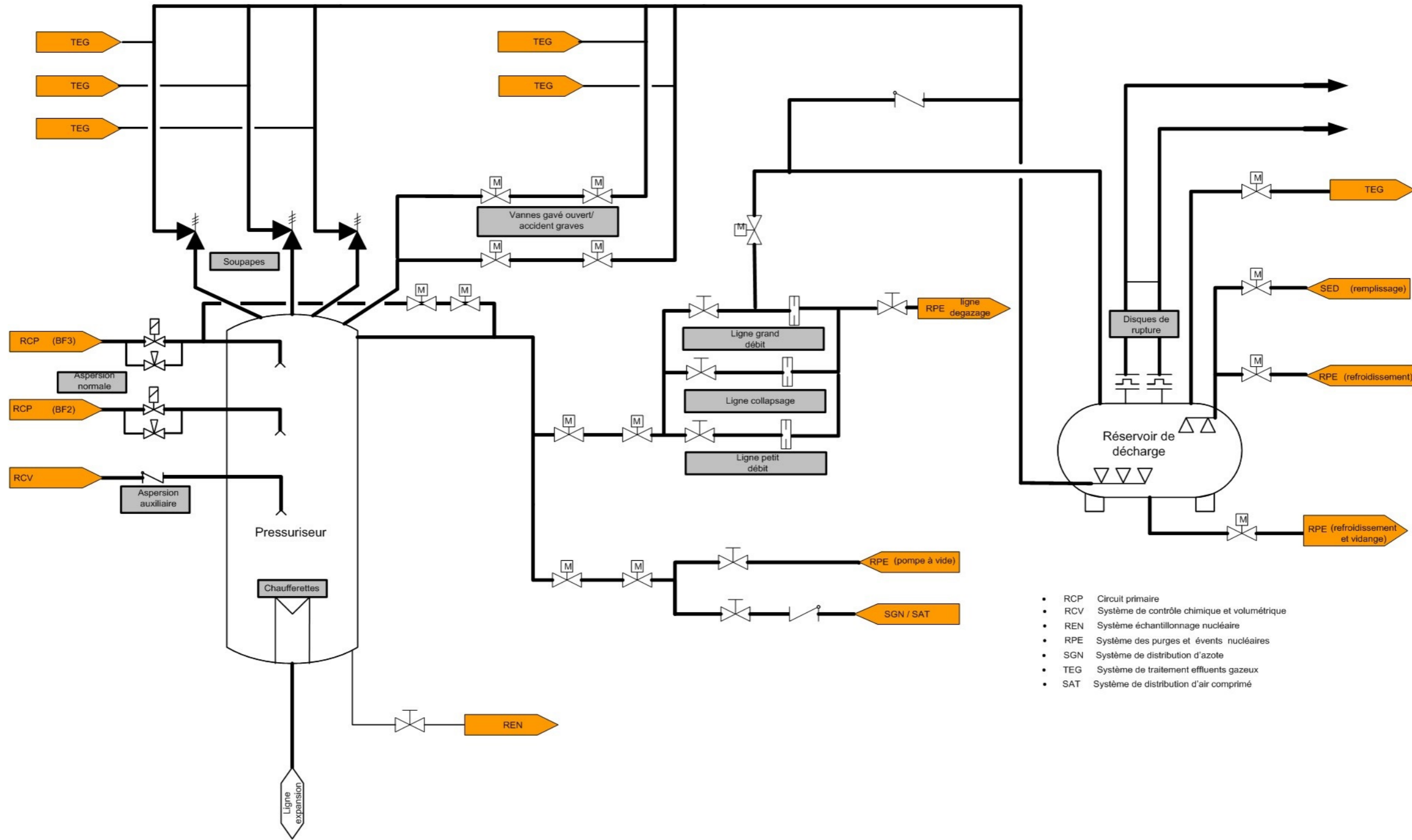
En parallèle de ces dispositions, il a été vérifié que :

- le chemin de passage et l'emplacement destinée à recevoir les équipements (casemates et supports) sont exempts de tout obstacle,
- les supports sont prêts à recevoir les équipements,
- les axes de références matérialisant l'orientation des équipements sont repérés,
- les dispositifs de manutention sont disponibles et en état de fonctionner. Ces dispositifs sont conformes avec la réglementation française en vigueur à la date de l'installation.

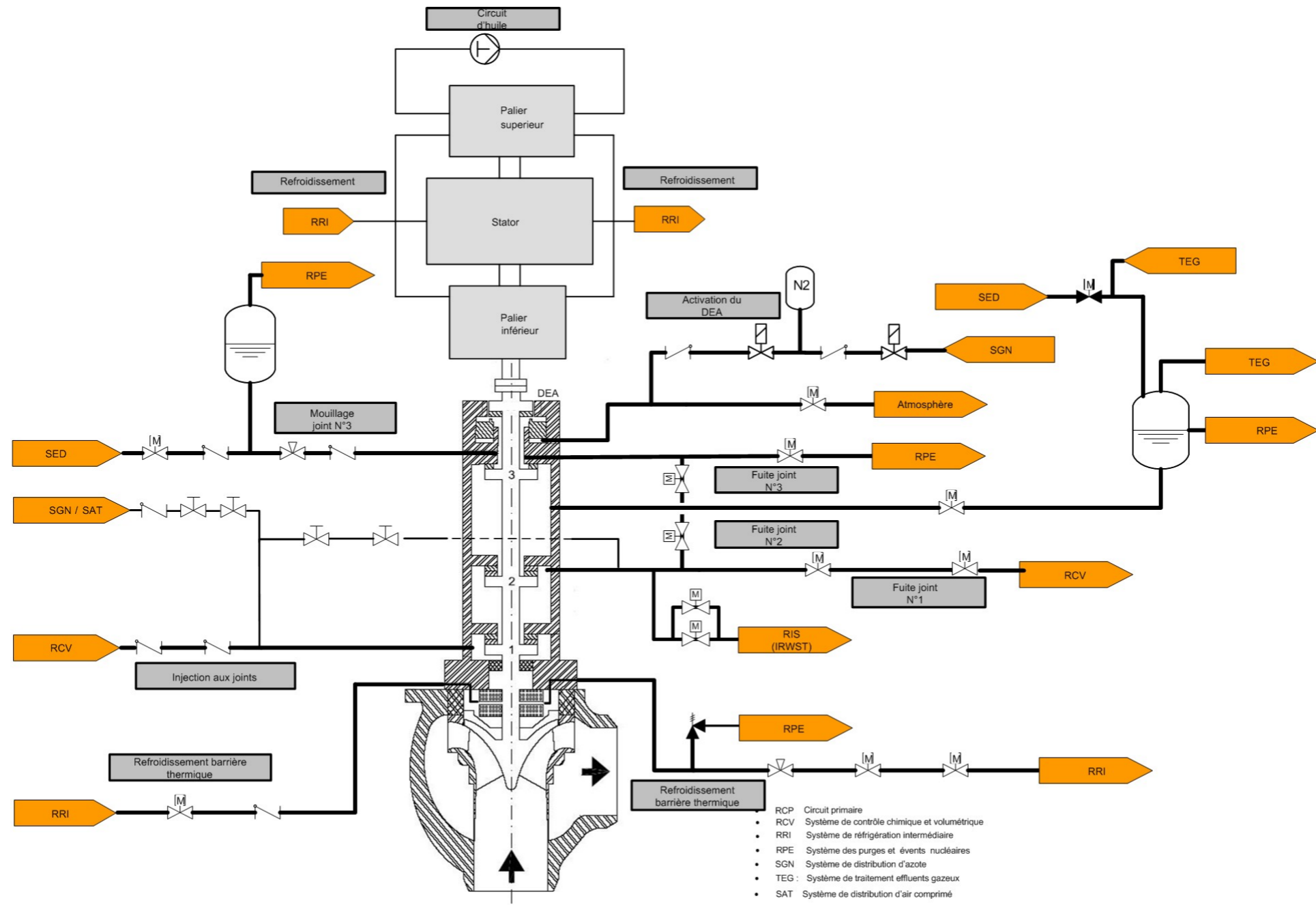
Pour chaque appareil, la notice d'instructions correspondante permet d'identifier l'ensemble des exigences en lien avec ces dispositions.

FIG-5.1.1 SCHÉMAS DE PRINCIPE DU RCP

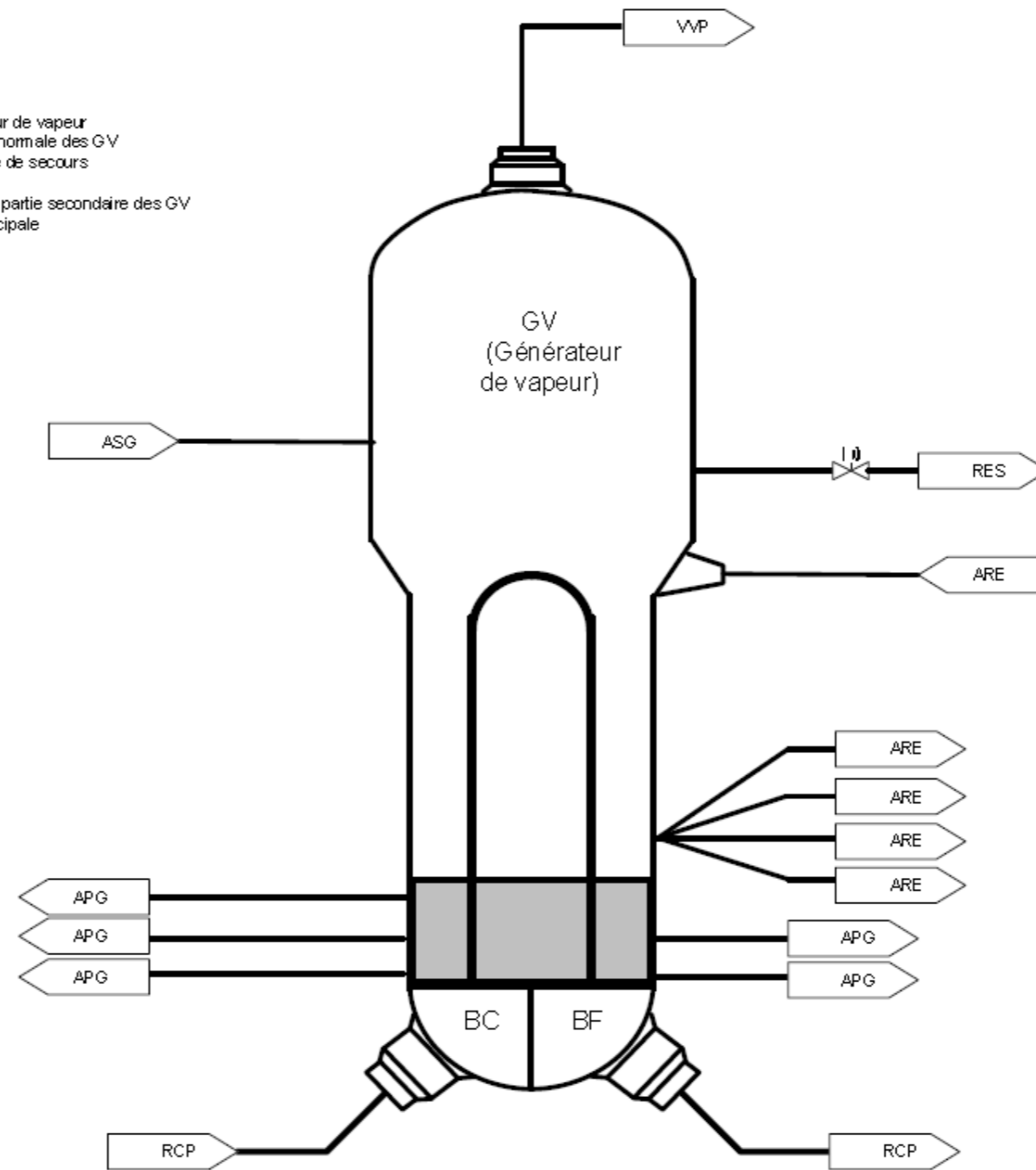


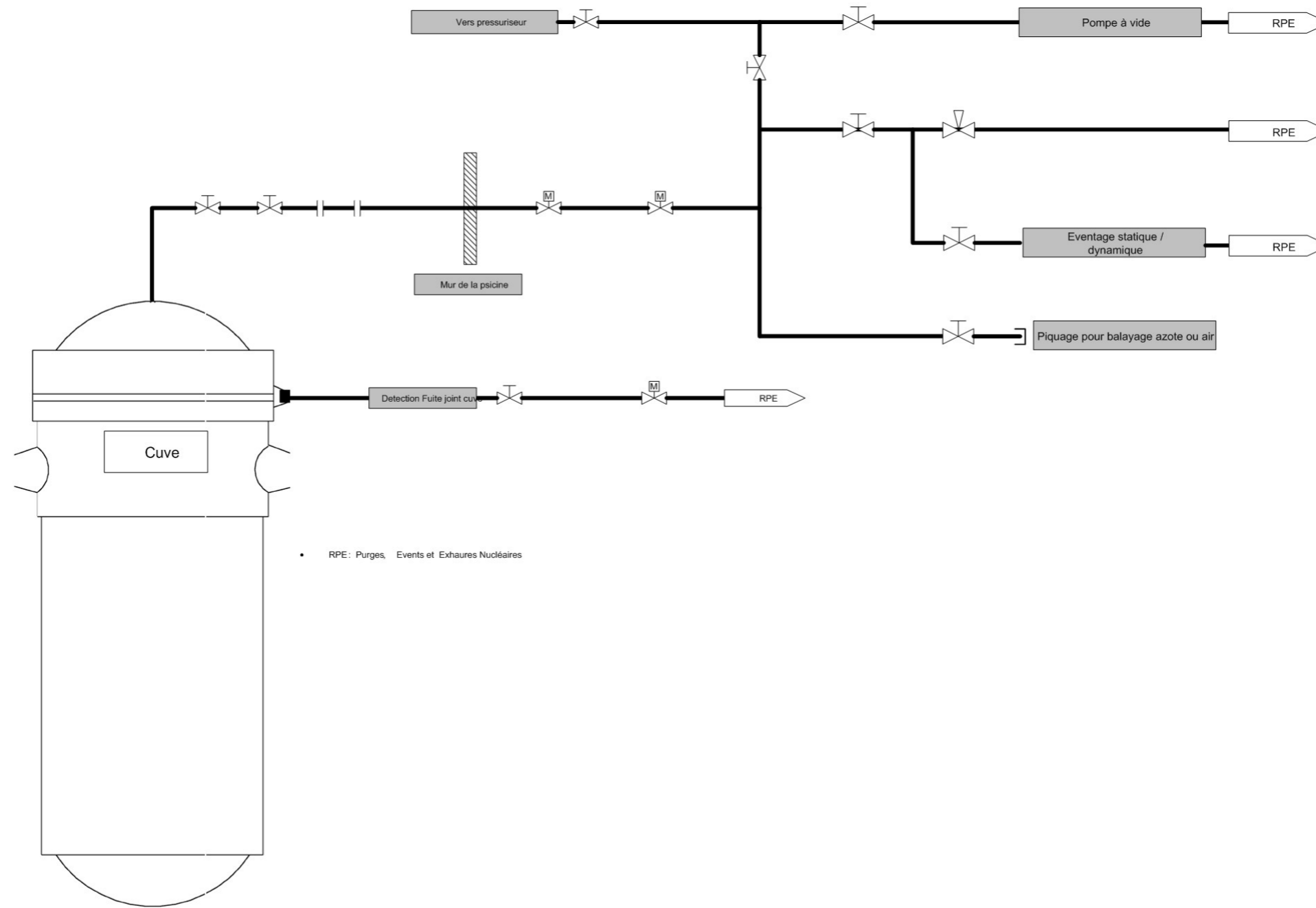


- RCP Circuit primaire
- RCV Système de contrôle chimique et volumétrique
- REN Système échantillonnage nucléaire
- RPE Système des purges et événements nucléaires
- SGN Système de distribution d'azote
- TEG Système de traitement effluents gazeux
- SAT Système de distribution d'air comprimé



- BC : Branche chaude
- BF : Branche froide
- APG : Purges des générateur de vapeur
- ARE : Circuit d'alimentation normale des GV
- ASG : Alimentation auxiliaire de secours
- RCP : circuit primaire
- RES : Echantillonnage de la partie secondaire des GV
- VVP : Circuit de vapeur principale





• RPE: Purges, Events et Exhaures Nucléaires

**FIG-5.1.2 TEMPÉRATURE BOUCLE ET PRESSION SECONDAIRE -
AU DÉBIT BEST ESTIMATE - EN FONCTION DE LA PUISSANCE**

□

**FIG-5.1.3 VOLUME ET NIVEAU D'EAU (% GAMME DE MESURE) DU
PRESSURISEUR
EN FONCTION DE LA PUISSANCE**

□

5.2 INTÉGRITÉ DE L'ENVELOPPE SOUS PRESSION DU CIRCUIT PRIMAIRE

5.2.1 RÈGLES DE CONCEPTION RELATIVES AUX ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION DU CPP DE NIVEAU DE QUALITÉ Q1

5.2.2 CHIMIE DE L'EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

5.2.3 EXCLUSION DE RUPTURE SUR LES TUYAUTERIES PRIMAIRES PRINCIPALES

5.2.4 PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS

5.2.5 INSPECTION EN SERVICE DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE PRINCIPAUX

5.2.6 EXIGENCES APPLIQUÉES AUX COMPOSANTS « NON RUPTIBLES »



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 2.1

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.5.2.1 RÈGLES DE CONCEPTION RELATIVES AUX ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION DU CPP DE NIVEAU DE QUALITÉ Q1	2
1. RÈGLES DE CONCEPTION	2
2. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX	2
3. SPÉCIFICATIONS APPLICABLES AUX MATÉRIAUX	2

.5.2.1 RÈGLES DE CONCEPTION RELATIVES AUX ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION DU CPP DE NIVEAU DE QUALITÉ Q1

1. RÈGLES DE CONCEPTION

Les équipements sous pression du CPP, tels que définis aux paragraphes 2.4.2 et 2.4.3 de la section 1.7.0 sont de niveau de qualité Q1 et de ce fait soumis aux dispositions du RCC-M niveau 1 (voir sous-chapitre 1.6).

Leur conception est fondée sur (cf. section 3.6.1) :

- Les situations de conception,
- Les efforts spécifiés,
- Les règles de combinaison d'efforts.

La conception de ces équipements sera effectuée conformément au volume B du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

Le risque de création et de propagation des corps migrants est pris en compte dès la phase de conception et lors de la fabrication des équipements, sur la base de retour d'expérience et des conclusions d'une analyse de risque.

A noter que les parties du CPP dont la rupture conduit à une fuite qui peut être compensée par RCV sont de niveau de qualité Q2 (cf. section 3.6.2).

2. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Les matériaux retenus pour les composants des équipements sous pression du CPP de niveau de qualité Q1 sont en règle générale ceux d'ores et déjà utilisés pour des composants similaires sur les tranches nucléaires en exploitation et caractérisés par un retour d'expérience satisfaisant, notamment vis-à-vis des phénomènes de vieillissement (sous irradiation, thermique, dynamique sous déformation). Toutefois, d'autres matériaux peuvent être utilisés sous réserve que les justifications appropriées soient apportées.

Les propriétés mécaniques seront définies conformément au Tome I, Annexe ZI et Annexe ZIII du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6), en cohérence avec les dispositions du Tome II ou avec les dispositions d'approvisionnements retenues lorsqu'il est fait appel à un matériau non couvert par le RCCM.

3. SPÉCIFICATIONS APPLICABLES AUX MATÉRIAUX

Les spécifications applicables aux matériaux utilisables pour les composants des équipements sous pression du CPP de niveau 1 RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) sont listées dans le chapitre B 2000 du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) pour les matériaux usuels ou dans les spécifications d'équipements pour les nouveaux matériaux, le cas échéant.

Les matériaux satisfont aux exigences applicables du Tome II du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) ou à des dispositions équivalentes, lorsqu'il est fait appel à un matériau non couvert par le RCC-M. Ces spécifications matériaux peuvent être considérées comme standard pour les applications listées.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 2.2

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.5.2.2 CHIMIE DE L'EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE . . . 2



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE	5
SECTION	2.2
PAGE	2/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

.5.2.2 CHIMIE DE L'EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

Cf. sous-chapitre 9.6.

SOMMAIRE

.5.2.3 EXCLUSION DE RUPTURE SUR LES TUYAUTERIES PRIMAIRES

PRINCIPALES	2
1. EXIGENCES ASSOCIÉES À LA DÉMONSTRATION DE L'EXCLUSION DE RUPTURE	2
1.1. PRÉVENTION DES ENDOMMAGEMENTS	2
1.1.1. CONCEPTION	2
1.1.2. FABRICATION	4
1.1.3. CONTRÔLES DE FIN DE FABRICATION	4
1.2. SURVEILLANCE EN EXPLOITATION	5
1.2.1. SUIVI EN EXPLOITATION	5
1.2.2. INSPECTION EN SERVICE	5
2. EXIGENCES NON ASSOCIÉES À LA DÉMONSTRATION D'EXCLUSION DE RUPTURE	6
2.1. PRÉVENTION DE LA RUPTURE DOUBLEMENT DÉBATTUE	6
2.1.1. TOLÉRANCE AUX GRANDS DÉFAUTS TRAVERSANTS	6
2.1.2. DÉTECTION DE FUITES	6
2.2. LIMITATION DES CONSÉQUENCES DES RUPTURES DOUBLEMENT DÉBATTUES (« BRÈCHES 2A »)	7
2.2.1. ANALYSES DES BRÈCHES 2A	7
2.2.2. INTÉGRITÉ DES AUTRES COMPOSANTS PRIMAIRES	7
3. AUTRES CONSÉQUENCES	7

.5.2.3 EXCLUSION DE RUPTURE SUR LES TUYAUTERIES PRIMAIRES PRINCIPALES

Cette section décrit la mise en œuvre sur les tuyauteries principales du circuit primaire de la démarche d'exclusion de rupture, dont les principes sont détaillés dans le sous-chapitre 3.4. Cette démarche est applicable :

- aux branches chaudes, aux branches en U et aux branches froides,
- y compris les embouts de sécurité de la cuve et des GV, les soudures bimétalliques et homogènes de raccordement aux récipients (cuve, GV, GMPP) et les piquages intégrés de forge,

à l'exclusion :

- des piquages pénétrés et leurs soudures d'implantation sur les tuyauteries principales,
- et des soudures de raccordement des piquages avec les lignes connectées.

1. EXIGENCES ASSOCIÉES À LA DÉMONSTRATION DE L'EXCLUSION DE RUPTURE

1.1. PRÉVENTION DES ENDOMMAGEMENTS

Elles sont prises au titre du premier niveau de défense en profondeur afin de prévenir dès la conception toute perte d'intégrité provoquée par des dommages globaux (déformation excessive, déformation progressive ou instabilité plastique, en tenant compte d'un amincissement de la paroi par corrosion généralisée ou usure) ou par des dommages locaux (ou un défaut préexistant, ou initié par fatigue ou corrosion, peut conduire à une fuite ou une rupture brutale, après une phase de propagation).

Un haut niveau de qualité est atteint par l'application des règles du RCC-M niveau 1, renforcées sur certains points particuliers.

1.1.1. Conception

1.1.1.1. Chargements pris en compte

Les chargements pris en compte sont les suivants :

- le poids propre des tuyauteries, y compris le calorifuge et le fluide véhiculé.
- la pression interne (la pression interne est limitée par la présence de 3 soupapes sur 3 trains indépendants, dont le tarage est régulièrement vérifié).
- l'expansion thermique de l'ensemble du CPP (la tuyauterie et les gros composants connectés) (A noter qu'aucun support n'entrave la dilatation des tuyauteries primaires).
- les transitoires en pression et température définis dans le DDS (Dossier Des Situations).
- les chargements thermiques locaux provoqués par des phénomènes de type « zones de mélange », au niveau des gros piquages primaires (LEP, RCV, RIS-RA). Par rapport au parc en exploitation, des améliorations de design et de conduite significatives ont été apportées pour limiter leur nocivité : piquages intégrés de forge, manchette thermique optimisée sur les piquages RCV Charge, dédoublement de la ligne RCV Charge, connexion du RRA à 120°, régulation pressuriseur.
- les chargements vibratoires lorsqu'ils sont significatifs (manchette thermique optimisée du piquage RCV Charge), la raideur élevée des tuyauteries primaires limitant fortement leurs vibrations. De plus, la ligne d'arbre du GMPP, principale source de sollicitations vibratoires d'ensemble des tuyauteries primaires, est suivie en service (capteurs de déplacements, de vibrations, de vitesse).
- les ruptures de lignes connectées au circuit principal et □.


- les séismes de dimensionnement (4^{ème} catégorie) et d'inspection (2^{ème} catégorie).








De plus, une instrumentation spécifique « tête de série » est installée afin de surveiller le comportement global des boucles primaires en exploitation (voir plus loin) et vérifier ainsi :

- l'exhaustivité des chargements pris en compte,
- les hypothèses relatives aux chargements considérés.



1.1.1.2. Matériaux utilisés

Les métaux de base des tuyauteries primaires et embouts de sécurité concernées par l'exclusion de rupture sont respectivement en acier inoxydable austénitique de nuance  à azote contrôlé. Ce matériau :

- est connu et présente un bon REX (il est notamment utilisé sur les paliers 1300 MW et N4),
- ne présente pas de risque de fluage significatif en dessous de la température de calcul du CPP,
- ne présente pas de risque de fissuration à chaud du fait de la spécification d'une teneur en bore de ,
- exclut les risques de corrosion généralisée et de corrosion-érosion (associé à une bonne maîtrise du débit primaire),
- minimise le risque de corrosion sous contraintes,
- n'est pas sensible au vieillissement thermique,
- présente une très bonne soudabilité,
- est ductile () et présente une bonne ténacité (). Les valeurs de résilience spécifiées sont définies en fonction des possibilités industrielles des fournisseurs et sont à minima suffisantes pour permettre la démonstration de robustesse des équipements. Si nécessaire un programme expérimental doit déterminer les valeurs minimales des caractéristiques nécessaires à la démonstration qui ne figureraient pas dans le RCC-M,
- vise à exclure le risque de rupture fragile.

Le métal déposé des soudures (métal d'apport du type ) a des valeurs de résistance en traction au moins égales à celles spécifiées pour le matériau de base. De plus, même à l'état vieilli, les soudures présentent une grande résistance à la déchirure ()

Ces soudures sont sensibles au vieillissement thermique. Des dispositions expérimentales sont mises en oeuvre pour vérifier que le vieillissement thermique des matériaux sur la durée de vie n'excède pas celui pris en compte dans les analyses.

Les soudures circonférentielles homogènes ne présentent pas de risque de fissuration à chaud du fait de la spécification d'une teneur en ferrite entre , ni de risque de corrosion intergranulaire du fait de la spécification d'une teneur en carbone .

Il a aussi été vérifié que les matériaux utilisés pour le calorifuge des tuyauteries primaires ne favorisent pas la corrosion sous contraintes des tuyauteries primaires par l'extérieur (en particulier, les teneurs en halogènes sont suffisamment faibles).

1.1.1.3. Dimensionnement

On vérifie notamment :

- qu'avec les caractéristiques mécaniques minimales du matériau, et les combinaisons de chargements les plus défavorables, les limites de contraintes imposées par le RCC-M niveau 1 sont satisfaites.

- que le facteur d'usage avec prise en compte des effets zone de mélange est partout inférieur à 1, y compris au niveau du bec du piquage de charge RCV. Le risque de fatigue thermique (zone de mélange) doit être réduit par des dispositions de conception. Ceci a nécessité la mise en place d'une manchette thermique optimisée (il s'agit du seul piquage primaire avec manchette thermique). Un facteur d'usage inférieur à 0,1 est visé pour les soudures TOCE.
- que la propagation par fatigue d'un défaut de référence (en lien avec les CND) ainsi qu'un défaut de taille exceptionnelle placés aux endroits les plus contraints est limité et acceptable sur les 60 ans de durée de vie de la tranche. La stabilité d'un tel défaut après propagation est garantie et la propagation par fatigue est prioritairement dans l'épaisseur.
- que, de manière plus générale, les tuyauteries primaires ne sont pas sensibles à la rupture brutale (stabilité garantie d'un défaut quart-épaisseur). Dans le cadre des analyses à la rupture brutale, la justification est visée en considérant un défaut hypothétique important (défaut conventionnel).
- qu'elles ne sont pas agressées par leur environnement : la rupture d'un composant EDR ne doit pas être induite par la défaillance d'un équipement non EDR et les masses localisées importantes des tuyauteries non EDR ne doivent pas créer de dommage sur les lignes EDR (sous-chapitres 3.3 et 3.4)

1.1.2. Fabrication

Le procédé de fabrication du matériau utilisé doit permettre l'atteinte d'un haut niveau de qualité en tenant compte de l'état d'avancement des techniques : les tuyauteries primaires et les embouts de sécurité cuve et GV ne sont pas moulées, mais forgées, avec un taux de corroyage strictement supérieur à \square , ce qui réduit le risque de défauts, et contribue à maîtriser les hétérogénéités de propriétés mécaniques du matériau et à favoriser l'obtention de caractéristiques mécaniques élevées.

Afin de minimiser le risque de fatigue dans les zones de mélange, un polissage à l'aide de brosses à lamelles est effectué en peau interne au voisinage des piquages LEP, RIS BF et RCV BF, avec une rugosité finale de \square .

Conformément au RCC-M, des essais ont permis de montrer que les caractéristiques mécaniques des matériaux étaient conformes aux valeurs minimales ou maximales spécifiées, aussi bien sur le métal de base que dans les joints soudés. De plus, un programme de qualification technique a permis de démontrer une bonne maîtrise du risque d'hétérogénéité des propriétés matériaux dans toutes les zones des branches primaires.

Afin de limiter le nombre de joints soudés, les piquages des lignes auxiliaires de \square ainsi que les piquages des lignes de charge du RCV sont intégrés de forge, les branches froides sont monoblocs et les branches chaudes ne sont constituées que de deux tronçons. Le procédé de soudage utilisé doit permettre l'atteinte d'un haut niveau de qualité en tenant compte de l'état d'avancement des techniques et des pratiques : les joints soudés sont de type \square automatique chanfrein étroit, avec un métal d'apport du type \square pour les soudures homogènes qui bénéficie d'un REX favorable de plus de 15 ans (il est notamment utilisé sur le palier N4), et qui permet un haut niveau de qualité. Les joints soudés des LBM sont de type \square . Les soudures sont arasées en peau interne et externe.

1.1.3. Contrôles de fin de fabrication

La qualification technique des branches primaires a démontré une bonne perméabilité aux ultrasons, y compris au niveau du bec de piquage RIS-RA, ce qui a permis de contrôler par ultrasons à 100% volumique les pièces forgées (également contrôlées en 100% surfacique). D'autre part, les contrôles suivants sont mis en œuvre pour les soudures réalisées selon le procédé de soudage TOCE :

- un ressuage interne de la racine (après arasage) à \square mm de remplissage et au stade final,
- un contrôle radiographique panoramique à \square mm de remplissage et à 100% de remplissage au stade final, après arasage,
- un ressuage externe au stade final (après arasage),
- complété par un contrôle ultrasons \square dans leur axe, en paroi externe, après arasage de la soudure.

Les contrôles suivants sont mis en œuvre pour les soudures réalisées selon le procédé de soudage TCE :

- un contrôle radiographique à 100% au stade final,
- un ressuage externe au stade final,
- complété par un contrôle ultrasons □ dans leur axe.

Tout ceci a permis de vérifier l'absence de défauts significatifs.

Les épaisseurs (y compris les délardages) ont été mesurées supérieures aux épaisseurs minimales justifiées en conception.

1.2. SURVEILLANCE EN EXPLOITATION

Elle est effectuée au titre du deuxième niveau de défense en profondeur. Comme le premier niveau décrit au paragraphe précédent, les exigences sont renforcées par rapport aux paliers français précédents. Ce deuxième niveau vise à détecter le plus tôt possible tout écart par rapport aux hypothèses prises au titre du premier niveau.

1.2.1. Suivi en exploitation

Comme indiqué précédemment, une instrumentation spécifique a été installée pour confirmer que le comportement global des boucles primaires est conforme à celui prévu à la conception. Cette instrumentation est composée de capteurs chargés de vérifier qu'il existe un jeu non nul entre les générateurs de vapeur et les butées latérales.

Le niveau vibratoire du circuit primaire est aussi constamment vérifié en exploitation par des mesures de niveau de vibration des pompes primaires.

De plus, les transitoires de pression et de température en différents points des boucles primaires, ainsi que le débit primaire sont enregistrés et comptabilisés ; leur conformité à ceux prévus à la conception dans le DDS (Dossier Des Situations) est vérifiée. Dans le cas de transitoires plus sévères ou non prévus (Transitoires Non Classés), une étude particulière est menée afin d'évaluer de manière enveloppe leur nocivité vis-à-vis du dommage de fatigue.

Enfin, l'exploitant réalise le suivi en service des paramètres chimiques lithium, hydrogène, oxygène, chlorures, fluorures, sulfates, sodium de l'eau primaire conformément aux prescriptions du document standard des spécifications chimiques applicables lors du fonctionnement en puissance et des phases d'arrêt, et ce en terme de périodicité d'analyse, de valeurs attendues et de limites à respecter, ainsi que de conduite à tenir en cas de dépassement des limites.

1.2.2. Inspection en service

Par conception, les branches primaires sont inspectables :

- Bonne accessibilité des soudures (à 100%) et des piquages.
- Perméabilité aux ultrasons.

Tous les procédés d'inspection ont fait l'objet d'une qualification de type conventionnel (aucun endommagement redouté) conformément à l'article 8 de l'Arrêté d'Exploitation du 10 novembre 1999 modifié. De manière plus générale, les inspections en service des branches primaires sont réalisées conformément à cet arrêté et à sa circulaire d'application.

Le PBMP (Programme de Base de la Maintenance Préventive) définit les examens à réaliser lors des visites ultérieures à la VCI. Il prend en compte les zones les plus sensibles aux endommagements, déterminées en fonction du REX du parc français et les résultats des analyses des contraintes et de fatigue des branches primaires et des piquages, mais aussi un plan d'inspection par sondage des

soudures, au titre de la défense en profondeur. Les résultats des examens VCI y sont également pris en compte.

Lors de la VCI :

- 100% des soudures homogènes sont inspectées par contrôle ultrasons.
- 100% des soudures bi-métalliques sont inspectées par contrôle radiographique et ultrasons.

En exploitation, les examens volumiques seront réalisés par ultrasons externes (procédé automatisé), à l'exception de la liaison bimétallique côté cuve (ultrasons internes). Les seuils de détection des essais non destructifs qualifiés étant inférieurs aux tailles de défauts considérées dans les études de rupture brutale, tout défaut potentiellement nocif sera détecté. Une réparation, une justification ou un suivi en service appropriés pourront alors être mis en place.

Lors des visites décennales :

- L'ensemble des soudures de raccordement aux composants et entre tronçons feront l'objet d'un examen volumique par ultrasons.

2. EXIGENCES NON ASSOCIÉES À LA DÉMONSTRATION D'EXCLUSION DE RUPTURE

2.1. PRÉVENTION DE LA RUPTURE DOUBLEMENT DÉBATTUE

Il s'agit ici de prévenir l'accident même en cas de perte d'intégrité. Cette prévention repose sur deux principes :

2.1.1. Tolérance aux grands défauts traversants

L'étude de tolérance aux grands défauts traversants, dans le domaine ductile, postule la présence de défauts circonférentiels traversants dans toutes les soudures de raccord aux gros composants primaires, aussi bien pour les soudures homogènes que pour les soudures bimétalliques (ces soudures sont en effet beaucoup plus chargées que les soudures intermédiaires des branches primaires). Elle est conduite en 2 étapes :

- Détermination de la taille de défaut traversant critique, c'est-à-dire la taille au-delà de laquelle le défaut se propage de manière instable et très rapide, conduisant à la rupture complète de la tuyauterie. La stabilité du défaut critique est déterminée en prenant en compte comme chargements : le poids propre, la pression, la dilatation thermique en fonctionnement nominal et le séisme de dimensionnement. Les méthodes utilisées (RCC-MR A16 ou méthode EPRI) sont reconnues et validées. []
- Détermination du défaut détectable par les dispositifs de détection de fuite. Il s'agit du défaut conduisant au plus petit débit de fuite détectable par les systèmes dédiés (voir section suivante) **multiplié par 10**. Les chargements pris en compte sont le poids propre, la pression interne et la dilatation thermique en fonctionnement nominal. La méthode utilisée ([]) est validée. []

2.1.2. Détection de fuites

Deux systèmes de détection de fuite différents et indépendants sont installés dans le BR pour détecter une fuite au niveau du CPP : le bilan RCV et le système KIL composé de capteurs d'humidité. [] Compte tenu des marges présentées précédemment, ils visent à informer l'exploitant de l'existence d'une brèche primaire de taille suffisamment petite pour qu'il puisse ramener la tranche à un état sûr avant que cette brèche puisse conduire à une rupture guillotine d'une branche primaire.

2.2. LIMITATION DES CONSÉQUENCES DES RUPTURES DOUBLEMENT DÉBATTUES (« BRÈCHES 2A »)

Cette dernière ligne de défense considère la défaillance de toutes les lignes de défense de niveau inférieure et étudie donc les conséquences d'une rupture guillotine doublement débattue des branches primaires.

2.2.1. Analyses des brèches 2A

Au titre de la défense en profondeur, une analyse des conséquences thermo-hydrauliques de rupture 2A des lignes primaires a été effectuée, en utilisant des règles et hypothèses réalistes (voir section 19.3.2.1a).

L'analyse montre que :

- les conséquences sur les gaines de combustible sont limitées,
- le dimensionnement des capacités du système d'injection de sécurité RIS et de l'enceinte de confinement, ainsi que les conditions d'ambiance pour la qualification des équipements (pression, température, humidité, ...) sont compatibles avec une rupture doublement débattue considérée avec des hypothèses réalistes.

2.2.2. Intégrité des autres composants primaires

En cas de rupture doublement débattue d'une boucle primaire, aucun dommage mécanique ne doit être transmis aux boucles non rompues par l'intermédiaire de la cuve. Chaque boucle est entourée de parois de béton armé suffisamment épaisses pour prévenir l'endommagement des boucles non rompues ou de l'enceinte. De plus, le support de la cuve limite les déplacements horizontaux de la cuve suite à une rupture 2A, de manière à prévenir la transmission des efforts aux autres boucles via la cuve.

Enfin, pour la vérification du dimensionnement des supports des gros composants (cuve, GV, GMPP), une charge statique sur chaque tubulure, successivement, est prise en compte, du type p , où p est la pression de fonctionnement normal (155 bar) et A la section des branches primaires.

3. AUTRES CONSÉQUENCES

Il résulte du renforcement des niveaux 1 et 2 de la défense en profondeur liée à l'exclusion de rupture les points suivants sur la conception de l'EPR FA3 :

- une meilleure accessibilité pour l'inspection en service des soudures primaires, puisqu'il n'est pas nécessaire de prévoir des dispositifs anti-débattement sur les tuyauteries primaires.
- la rupture doublement débattue des branches primaires n'est plus une condition de fonctionnement prise en compte pour le dimensionnement des matériels mécaniques en PCC4. Elle reste néanmoins étudiée, comme on l'a vu, au titre de la défense en profondeur, au besoin avec des conditions réalistes, du point de vue des conséquences thermo-hydrauliques sur le cœur et l'enceinte. Seules les ruptures des tuyauteries connectées aux branches primaires (RIS-RA, LEP, RCV) restent considérées en PCC4.

SOMMAIRE

.5.2.4 PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS	2
1. DIMENSIONNEMENT	2
1.1. PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES	2
1.2. PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS EN PUISSANCE	2
1.3. PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS EN ÉTAT D'ARRÊT À FROID	2
2. ÉVALUATION DE CONCEPTION	3
3. SCHÉMAS DE TUYAUTERIES ET INSTRUMENTATIONS	3
4. DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS ET DES COMPOSANTS	3
5. MONTAGE	3
6. CODE APPLICABLE ET CLASSIFICATION	3
7. SPÉCIFICATIONS DES MATÉRIAUX	3
8. INSTRUMENTATION	3
9. FIABILITÉ DU SYSTÈME	4
10. ESSAIS ET INSPECTION	4

.5.2.4 PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS

La protection contre les surpressions vise à protéger l'intégrité du circuit primaire principal dans des conditions en puissance et en état d'arrêt à froid. Elle est assurée en utilisant des soupapes de sûreté en parallèle avec le système de protection du réacteur et les équipements associés.

Ce thème se subdivise en deux études :

- Une étude pénalisant le risque de surpression où l'on démontre le respect des critères réglementaires définis par l'arrêté du 10/11/99 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression. Cette étude est présentée en section 3.6.3.1.
- Une étude pénalisant le risque de rupture brutale de la cuve du réacteur due à un choc froid pressurisé en état d'arrêt à froid. Cette étude, traitée au [§ 1.3.](#), vise à démontrer pour chaque catégorie le respect des critères mécaniques définis par le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6). Le bon dimensionnement des soupapes en état d'arrêt à froid (tarage, capacité de décharge) est justifié en section 3.6.3.2.

1. DIMENSIONNEMENT

La protection du RCP contre les surpressions dans des conditions en puissance et en état d'arrêt à froid est assurée par trois lignes de protection reliées au pressuriseur. Les soupapes de sûreté équipant ces lignes sont décrites à la section 5.4.7.

Lorsque le réacteur est en état d'arrêt à froid, l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur s'obtient sur un ordre de contrôle-commande dédié élaboré par un seuil de pression du circuit primaire et agissant directement sur les pilotes solénoïdes des soupapes de sûreté. Lors de transitoires de surpression en puissance, chaque soupape de sûreté du pressuriseur est actionnée par un pilote à ressort (voir section 5.4.7) dépendant directement de la pression primaire.

Les dispositifs de protection contre les surpressions sont conçus et définis pour respecter les exigences générales définies pour chaque catégorie d'accident (voir [§ 1.1.](#)).

Pour les conditions à chaud et à froid, les transitoires ont été étudiés en retenant les hypothèses les plus pénalisantes pour les paramètres initiaux de dimensionnement du système de protection contre les surpressions (voir [§ 1.2.](#) et [§ 1.3.](#)).

1.1. PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

Les prescriptions générales sont définies à la section 3.6.3.

1.2. PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS EN PUISSANCE

Les protections contre les surpressions en puissance du circuit primaire sont détaillées à la section 3.6.3.1.

1.3. PROTECTION CONTRE LES SURPRESSIONS EN ÉTAT D'ARRÊT À FROID

Le point de consigne d'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur est automatiquement ajusté en fonction des états de tranche. La définition de la valeur du point de consigne dans des conditions à froid sert à limiter la pression maximale atteinte dans le circuit primaire.

Le système de refroidissement à l'arrêt (RIS-RA en mode RA) est protégé contre les surpressions par des soupapes de sûreté spécifiques à ce système. La protection contre les surpressions du RIS-RA en mode RA est étudiée dans le sous-chapitre 6.3.

La protection contre les surpressions en état d'arrêt à froid du circuit primaire est détaillée à la section 3.6.3.2.

Les transitoires engendrant un risque de rupture brutale sont analysés et détaillés dans le Dossier Des Situations du circuit primaire.

2. ÉVALUATION DE CONCEPTION

Les capacités de décharge des soupapes de sûreté du pressuriseur sont déterminées à partir de conditions de surpression postulées en tenant compte de l'action du système de protection du réacteur. Une évaluation de la conception fonctionnelle du système et des analyses de la capacité du système à assurer ses fonctions a été effectuée.

Une description des performances des soupapes de sûreté du pressuriseur ainsi que la description des incidents de conception, des hypothèses posées, des méthodes d'analyse et des conclusions sont données dans la section 5.4.7 et la section 3.6.3.

3. SCHÉMAS DE TUYAUTERIES ET INSTRUMENTATIONS

Les schémas mécaniques du système RCP se trouvent dans le sous-chapitre 5.1.

Le système de décharge du pressuriseur est décrit à la section 5.4.5.

4. DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS ET DES COMPOSANTS

Le fonctionnement, les paramètres de conception significatifs, la quantité, les cycles de fonctionnement et les conditions d'environnement des soupapes de sûreté du pressuriseur sont abordés à la section 5.4.7.

Une présentation des composants du système de protection contre les surpressions du circuit vapeur est faite dans le sous-chapitre 10.3.

5. MONTAGE

Le montage des composants du système de protection contre les surpressions du circuit primaire est abordé à la section 5.4.5.

6. CODE APPLICABLE ET CLASSIFICATION

La classification de sûreté du système de protection contre les surpressions primaires est donnée dans la section 3.2.2.

7. SPÉCIFICATIONS DES MATÉRIAUX

Les matériaux du circuit primaire et en particulier les soupapes du pressuriseur sont régis par le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

8. INSTRUMENTATION

Chaque soupape est équipée :

- d'une mesure de température permettant de détecter une perte du bouchon d'eau chaude, représentative d'une fuite de la soupape,
- d'une mesure de température permettant de détecter leur fuite,
- d'une mesure de température sur chaque pilote à ressort permettant de détecter leur fuite,

- d'un capteur analogique de position de la soupape qualifié aux conditions accidentelles, permettant de détecter l'ouverture ou la fermeture de la soupape,
- d'une mesure de la température permettant de détecter la défaillance du soufflet pilote .

Toutes ces mesures de température sont qualifiées. L'ensemble de ces mesures génère des signaux reportés en salle de commande.

9. FIABILITÉ DU SYSTÈME

La fiabilité des dispositifs de décharge a été démontrée par des essais et le retour d'expérience en exploitation : la qualification des soupapes de sûreté est abordée à la section 5.4.7.

10. ESSAIS ET INSPECTION

L'essai des composants de la protection contre les surpressions (principalement les soupapes de décharge) du circuit primaire est abordé à la section 5.4.5.

Par ailleurs, la conception des soupapes de sûreté et des composants associés permet un démontage et une inspection périodiques. Toutes les parties des soupapes (sauf dans le cas de connexion soudée) peuvent être démontées pour inspection et remplacement. Les pièces qui ne sont pas directement démontables appartiennent à un sous-ensemble inspectable en atelier et sont interchangeables.

SOMMAIRE

.5.2.5 INSPECTION EN SERVICE DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE PRINCIPAUX	2
1. UNE CONCEPTION ADAPTÉE À L'INSPECTION EN SERVICE	2
2. DÉTERMINATION DES ZONES À EXAMINER	3
3. VISITE COMPLÈTE INITIALE	3
3.1. TECHNIQUES ET PROCÉDURES DE CONTRÔLE EN SERVICE	4
4. PRINCIPES RETENUS POUR LA PHASE D'EXPLOITATION DU MATÉRIEL	5
LISTE DE RÉFÉRENCES	6

.5.2.5 INSPECTION EN SERVICE DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE PRINCIPAUX

Une inspection en service est une opération de maintenance préventive qui consiste à réaliser sur un matériel des vérifications et des examens non destructifs. L'ensemble de ces vérifications et examens sont regroupés, pour le circuit primaire principal et les circuits secondaires principaux (ESPN de niveau N1), au sein de programmes de base de maintenance préventive (PBMP), mis en œuvre de façon systématique et planifiée. Ce paragraphe traite des inspections en service des circuits primaire et secondaire principaux de l'EPR.

1. UNE CONCEPTION ADAPTÉE À L'INSPECTION EN SERVICE

Tous les composants mécaniques du CPP/CSP (niveau 1 ESPN) sont conçus, fabriqués et montés dans le but de permettre l'inspection en service, a minima de toutes les soudures, ainsi que de toute autre zone d'intérêt pour l'inspection, conformément aux exigences du décret n° 2016-1925 du 28 décembre 2016.

A cette fin, le fabricant de l'ensemble CPP/CSP :

- anticipe les risques d'endommagement susceptibles d'affecter le matériel, afin de les supprimer ou de les minimiser le plus possible,
- identifie dans la Notice d'Instruction correspondante les zones du matériel à inspecter de façon particulière compte tenu des risques résiduels qui n'ont pu être supprimés et de la réglementation en vigueur,
- prend pour les zones à inspecter, des dispositions constructives pour faciliter leur accessibilité et inspectabilité (toutes les mesures de conception, de construction et d'installation permettant l'accès ainsi que la détection et la caractérisation des défauts liés au type de matériau, à l'état de surface, à la géométrie des pièces, à la forme des chanfreins des soudures, arasage externe et parfois interne des soudures objet de contrôles ultrasonores),
- préconise des moyens d'examen à mettre en œuvre pour les inspections. Des examens surfaciques sont principalement mis en œuvre. Des examens télévisuels peuvent être mis en œuvre, en particulier sur les surfaces qui contiennent des produits radioactifs. Des examens par radiographie et par ultrasons des soudures principales en pression, ainsi que des examens par des moyens d'inspection automatiques et télécommandés peuvent également être envisagés.

Les circuits de tuyauterie exigeant un suivi en service sont conçus pour permettre un accès et une visibilité adéquats permettant de mener à bien de tels contrôles. L'accès, pour le contrôle en service, aux composants du CPP/CSP autres que la cuve du réacteur sera notamment fourni de la manière suivante :

- En règle générale, les plates-formes de travail ou les échafaudages temporaires seront fournis pour faciliter l'accès aux zones à contrôler.
- Des trous d'homme sont conçus pour pénétrer dans la boîte à eau du générateur de vapeur, en vue de permettre l'accès pour le contrôle interne des générateurs de vapeur.
- Un trou d'homme est conçu dans le fond sphérique supérieur du pressuriseur pour permettre l'accès en vue du contrôle interne du pressuriseur.
- Un bouchon radio est prévu pour faciliter le contrôle de la soudure bimétallique ARE (raccordement manchette thermique du tore à la tubulure GV).
- Le calorifuge recouvrant toutes les soudures du CPP/CSP est facilement amovible, ainsi dans les autres zones où un contrôle externe est prévu (par exemple l'ensemble de la surface des tuyauteries primaires principales).
- Le compartiment de la boucle primaire est conçu avec une accessibilité suffisante pour permettre le contrôle de la partie externe de la tuyauterie et des composants.

- La manchette de protection des traversées VVP est suffisamment éloignée de la tuyauterie pour permettre l'inspection des soudures sur le flasque.
- Les colliers de maintien sont démontables pour permettre l'inspection des surfaces et soudures du CPP.

Pour les zones où la radioactivité est importante, des dispositions de conception, construction et d'installation doivent être prises afin de minimiser le plus raisonnablement possible l'impact des inspections en service sur la dosimétrie collective.

2. DÉTERMINATION DES ZONES À EXAMINER

Les inspections en service doivent être effectuées en priorité dans les zones sensibles à l'apparition de défauts qui peuvent s'initier et évoluer en exploitation. Les zones sensibles dépendent de la conception des appareils et de leurs conditions d'exploitation. En phase de conception, elles doivent être identifiées par les fabricants de chaque équipement de l'ensemble CPP/CSP et par le fabricant de l'ensemble CPP/CSP dans les Notices d'Instruction correspondantes.

Le programme d'inspection en service mis en œuvre en exploitation est ensuite défini par l'exploitant, puis régulièrement mis à jour (à minima lors des requalifications périodiques), sur la base de ces Notices d'Instruction, mais aussi du retour d'expérience concernant les risques d'endommagement dans certaines zones particulières. Ce retour d'expérience provient :

- de l'exploitation de la tranche de Flamanville 3 elle-même lorsqu'il sera disponible,
- de l'exploitation de toutes les tranches françaises, lorsque qu'il est applicable à une tranche de type EPR,
- de tout événement international pertinent pour une tranche de type EPR.

Pour chaque zone, il est vérifié qu'aucun problème d'accessibilité ne se présente, à la fois en conception, et lors de la Visite Complète Initiale. Il est de plus vérifié que les performances attendues lors de l'examen en service sont cohérentes avec la conception et la fabrication (qualité de la surface, géométrie, etc.).

Pour les zones jugées non sensibles lors la conception ou ne présentant aucun retour d'expérience d'exploitation négatif, des inspections en service sont néanmoins effectuées par sondage au titre de la défense en profondeur.

Nota : les contrôles non destructifs lors de la fabrication permettent de garantir l'absence de défauts inacceptables après la fabrication

3. VISITE COMPLÈTE INITIALE

L'arrêté du 10 novembre 1999 modifié portant application de la réglementation relative à la surveillance de l'exploitation du Circuit Primaire Principal (CPP) et du Circuit Secondaire Principal (CSP) des réacteurs nucléaires fait obligation à l'Exploitant, au titre de l'article 9, de procéder avant le premier chargement du réacteur à une visite des appareils destinée à :

- servir de référence pour la comparaison et l'interprétation des examens ultérieurs,
- vérifier que les mesures prises à la conception et en réalisation sont adaptées à une surveillance satisfaisante en exploitation (accessibilité des zones à contrôler, état de surface satisfaisant...),
- un ultime examen des appareils avant leur mise en service.

L'exploitant doit ainsi procéder, avant la mise en service de la chaudière, à une visite de l'installation au moins aussi approfondie que celles qui seront effectuées ultérieurement en exploitation lors des requalifications périodiques. Cette visite, appelée Visite Complète Initiale (VCI), sert donc d'état de référence (ou « point zéro ») et permettra par la suite de juger de l'évolution éventuelle d'indications

laissées en l'état en toute connaissance de cause à l'issue de la fabrication, ou encore de pouvoir détecter l'apparition d'indications en exploitation.

Le programme de la VCI est établi en s'appuyant sur :

- la doctrine d'exploitation du parc N4,
- les données d'entrée de conception des composants CPP/CSP (géométrie, matériaux, risques d'endommagement...),
- les exigences en terme de radioprotection,
- l'optimisation des durées d'arrêt de tranche.

Une première version du programme de la VCI a été diffusée [Réf \[1\]](#). Le programme définitif des examens pourrait être amené à évoluer avec la prise en compte des derniers résultats des études de conception de la chaudière et des recommandations émises dans les notices d'instruction réglementaires disponibles des fabricants.

Sur la base de ce programme, les qualifications des procédés d'examen non destructif, conformément à l'article 8 de l'arrêté d'exploitation du 10 novembre 1999 modifié, ont été entreprises.

La VCI se déroulera en 2 phases :

- Avant les épreuves hydrauliques des ensembles CPP/CSP, elle sera mise en œuvre sur les soudures déjà éprouvées en usine.
- Après les épreuves hydrauliques des ensembles CPP/CSP, elle sera mise en œuvre sur les autres soudures.

3.1. TECHNIQUES ET PROCÉDURES DE CONTRÔLE EN SERVICE

Conformément aux articles 8 et 9 de l'arrêté exploitation, les contrôles de la VCI seront effectués avec des procédés qualifiés autant que faire se peut, suivant la précision de la circulaire qui indique : « Dans toute la mesure du possible, les examens sont réalisés avec les procédés qualifiés que l'exploitant prévoit d'utiliser ensuite en exploitation, de façon à permettre des comparaisons »

La démarche de conception de la chaudière EPR s'est efforcée de retenir les meilleurs choix et les meilleures pratiques des parcs français et allemand, en intégrant un retour d'expérience très riche. Sur la base de ce REX, des optimisations ciblées ont généralement permis de s'affranchir de la présence de zones sensibles à des phénomènes ou modes d'endommagement identifiés.

De plus les procédés de fabrication mis en œuvre sur le CPP et le CSP bénéficient d'une très large expérience et intègrent un état de l'art éprouvé. Un contrôle de la fabrication rigoureux et conséquent est aussi assuré.

L'ensemble de ces dispositions permet de réduire autant que possible les risques associés à la fabrication, et pouvant avoir un impact sur le programme VCI.

Ainsi, sur la base d'une conception et d'une fabrication robustes, il n'est généralement pas redouté d'endommagement en service. Pour cette raison, les applications END (Examens Non Destructifs) prévues pour l'EPR sont principalement soumises à des qualifications conventionnelles. Afin de démontrer les performances de ces procédés, des essais sur maquettes ou des simulations numériques sont réalisées. Ces essais et ces simulations permettent de déterminer la sensibilité de détection des procédés sur des référentiels de type « défauts plans ».

Il existe néanmoins quelques exceptions pour lesquelles les applications END sont développées avec des qualifications autres que conventionnelles.

Ces exceptions s'expliquent :

- par des mutualisations de procédés déjà existantes sur le parc,

- par des études de dommage à la fatigue sur l'EPR conduisant à considérer la zone comme potentiellement sensible à la fatigue.

Divers équipements, procédures et techniques sont disponibles pour effectuer les contrôles en service. Les techniques et procédures spécifiques de contrôle et les outils de contrôle utilisés seront sélectionnés avant la période d'inspection en service.

A ce jour, les méthodes utilisables sont les suivantes :

- examen par radiographie,
- examen par ultrasons,
- examen par ressuage,
- examen par magnétoscopie,
- examen par courants de Foucault,
- examen visuel,
- examen télévisuel,
- surveillance acoustique.

Pour l'EPR Flamanville 3, la qualification des procédés représente pour la VCI :

- 39 applications END à qualifier,
- 19 applications « automatisées » et 20 applications « manuelles »,
- 17 applications ultrasonores, 9 radiographiques, 8 courants de Foucault, 2 magnétoscopie, 2 ressuges et 1 écoute acoustique.

De façon exceptionnelle, l'examen radiographique des soudures bimétalliques des tubulures GV fera l'objet d'une mutualisation en usine du contrôle CND et END. Cette mutualisation est justifiée par les points communs entre les 2 procédés de contrôles et un document technique indiquant que les exigences de mise en œuvre du procédé END englobent celles du procédé CND. De même, l'examen radiographique des soudures des branches primaires sur les volutes de pompes primaires sera réalisé avant l'épreuve primaire, afin d'éviter les risques de dégradation du matériel liés au retrait des hydrauliques de pompes.

4. PRINCIPES RETENUS POUR LA PHASE D'EXPLOITATION DU MATÉRIEL

A l'issue des étapes de conception, de fabrication, de montage et d'essais sur site, l'exploitant (l'UNIE) établit les programmes de base de maintenance préventive (PBMP) avec leur fréquence de mise en œuvre, sur la base :

- des notices d'instruction communiquées par le fabricant, qui prennent en compte les résultats de l'analyse de risque réglementaire et préconisent les éventuelles inspections en service en conséquence,
- des plans initiaux de maintenance et fiches de position DPN, par type et par famille de matériel, qui tiennent compte du retour d'expérience (défauts et dégradations constatées, propriétés des matériaux, incidents de fonctionnement), des exigences réglementaires et de l'importance sur la sûreté de la défaillance du matériel,
- de l'usage effectif du matériel.

Conformément à l'article 4. II de l'arrêté d'exploitation du 10/11/99, le programme de base de maintenance préventive sera transmis au plus tard 24 mois après la première divergence de la centrale.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 2.5

PAGE 6/6

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DE RÉFÉRENCES

[1] ECEMA070730 H

EPR FA3 – Programme de la visite complète initiale



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 2.6

PAGE 1/3

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.5.2.6 EXIGENCES APPLIQUÉES AUX COMPOSANTS « NON RUPTIBLES » 2

.5.2.6 EXIGENCES APPLIQUÉES AUX COMPOSANTS « NON RUPTIBLES »

Le paragraphe qui suit présente les dispositions qui sont prises en matière de conception, de fabrication, de contrôle et d'inspection en service pour les équipements sous pression nucléaires réputés « non ruptibles ». Le périmètre est limité aux gros composants du CPP : la cuve et son couvercle, le pressuriseur et les volutes de GMPP, ainsi qu'aux générateurs de vapeur (hors faisceau tubulaire).

Conformément aux dispositions de l'arrêté du 30 décembre 2015 modifié concernant les équipements sous pression classés N1 dont la défaillance peut conduire à des situations pour lesquelles le rapport de sûreté ne prévoit pas de mesures permettant de ramener l'installation dans un état sûr, et dits "non-ruptibles", des précautions particulières de conception, approvisionnement, réalisation, et contrôle sont appliquées, conformément aux exigences du RCC-M de niveau 1, complétées en tant que de besoin par les spécifications d'équipements, et ces équipements font l'objet d'un suivi particulier en exploitation.

En premier lieu, les situations dans lesquelles peuvent se trouver les équipements sont évaluées avec une grande précision en tenant compte de l'expérience et des résultats des études de systèmes, et font l'objet au cours de l'exploitation d'une surveillance réglementaire au moyen de la comptabilisation des situations, complétée au besoin par une instrumentation particulière, dans des zones soumises à des chargements locaux (exemple des zones de mélange, zones sensibles...)

En deuxième lieu, l'ensemble des modes d'endommagement potentiels fait l'objet d'une évaluation explicite au stade de la conception (dossiers d'analyse du comportement ou DAC), prenant en compte l'évolution des propriétés des matériaux en exploitation. Cette évolution est susceptible de faire l'objet d'un programme de suivi dès lors qu'elle est significative (à titre d'exemple, on peut mentionner le programme de surveillance de l'irradiation pour les viroles de cœur de la cuve).

En troisième lieu, les matériaux sont choisis sur la base d'une expérience importante de leur bon comportement en fabrication et en service, et les propriétés spécifiées sont conformes aux exigences réglementaires pour les équipements de niveau N1 et visent le plus haut niveau de qualité industrielle. Les produits et pièces font l'objet au stade des approvisionnements d'une qualification technique dès lors qu'un risque d'hétérogénéité de leurs caractéristiques, lié à l'élaboration ou à la complexité des opérations de fabrication prévues, est identifié. Les procédés utilisés pour la fabrication des composants forgés assurent un corroyage suffisant et une propreté inclusionnaire adéquate, contrôlée en fin de fabrication en tant que de besoin.

L'ensemble des opérations de la fabrication fait l'objet d'une qualification technique. Celle-ci a pour objet d'assurer que les composants fabriqués dans les conditions et selon les modalités de la qualification auront les caractéristiques requises. Les modes opératoires de soudage, y compris de revêtement par soudage, et le personnel les mettant en œuvre sont qualifiés selon des règles strictes et approuvés par un organisme notifié.

Les contrôles non destructifs permettent la détection des indications spécifiées comme inacceptables, et sont effectués par un personnel qualifié, au degré d'aptitude approprié, approuvé par une entité tierce partie reconnue. Les assemblages permanents devant résister à la pression font l'objet d'un contrôle de la totalité de leur volume, et un contrôle de chacune des surfaces finales des composants est réalisé.

En exploitation, les composants "non ruptibles" classés N1, sont soumis à l'arrêté d'exploitation du 10/11/1999 modifié. Un programme d'inspection en service est mis en œuvre de manière à détecter tout risque de perte d'intégrité malgré les précautions prises au stade de la conception, de la réalisation et du suivi des conditions de fonctionnement. Ce programme prévoit la mise en œuvre des moyens nécessaires pour connaître la nature, l'origine et l'évolution éventuelle des défauts et dégradations constatés sur les équipements. Les défauts et dégradations sont éliminés sauf justification probante du fait qu'ils ne peuvent pas conduire à une défaillance de l'équipement. Les examens non destructifs figurant dans le Programme de Base de la Maintenance Préventive sont mis en œuvre par du personnel qualifié, au degré d'aptitude approprié, approuvé par un organisme habilité à cet effet. Les procédés d'examen non destructif employés font l'objet, préalablement à leur utilisation, d'une



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 2.6

PAGE 3/3

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

qualification prononcée par un organisme accrédité, qui vise à démontrer que le procédé atteint les objectifs qui lui sont assignés.

5.3 CUVE DU RÉACTEUR ET MATÉRIELS CONNEXES

5.3.1 CUVE DU RÉACTEUR

5.3.2 CUVE DU RÉACTEUR - INTERNES SUPÉRIEURS

5.3.3 CUVE DU RÉACTEUR - INTERNES INFÉRIEURS

5.3.4 MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES DE CONTRÔLE

SOMMAIRE

.5.3.1 CUVE DU RÉACTEUR	4
1. DESCRIPTION	4
2. LISTE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	5
3. PRINCIPES DE CONCEPTION ET OBJECTIFS	6
3.1. CLASSEMENT SÛRETÉ	6
3.2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES SÉLECTIONNÉES	6
3.2.1. CORPS DE CUVE : CONCEPTION DU CŒUR	6
3.2.2. CORPS DE CUVE : CONCEPTION DE LA PARTIE SUPÉRIEURE	7
3.2.3. CORPS DE CUVE : CONCEPTION DE LA PARTIE INFÉRIEURE .	7
3.2.4. CONCEPTION DU COUVERCLE DE LA CUVE	7
3.3. DIMENSIONS PRINCIPALES	8
3.4. MATÉRIAUX	8
3.5. CONTRÔLABILITÉ	8
3.6. CONCEPTION DES SUPPORTS	8
3.7. LIAISONS	8
4. MATÉRIAUX	11
4.1. METAL DE BASE	11
4.2. AUTRES MATÉRIAUX DE LA CUVE	12
4.2.1. REVÊTEMENT DE LA CUVE	12
4.2.2. GOUJONS DE CUVE	12
4.2.3. EMBOUTS DE SÉCURITÉ DE CUVE	12
4.2.4. ADAPTATEURS ET GUIDES RADIAUX DE CUVE	12
5. CONCEPTION MÉCANIQUE	12
5.1. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT	12
5.2. CONCEPTION DES SOUS-ENSEMBLES	13
5.2.1. SOUS-ENSEMBLES DE CUVE CONCERNÉS PAR L'ANALYSE	
DES CHARGEMENTS ACCIDENTELS	13
5.2.2. ANALYSES DE DÉFORMATION PROGRESSIVE ET DE	
FISSURATION PAR FATIGUE	13
6. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE DE SÛRETÉ	14
6.1. ANALYSE DE LA MÉCANIQUE DE RUPTURE	14

6.2. EXIGENCES CONCERNANT L'INSPECTION EN SERVICE . . .	15
6.2.1. SURVEILLANCE DE L'IRRADIATION DES MATÉRIAUX . . .	15
6.2.2. INSPECTION EN SERVICE	16
6.3. LIMITATION DE PRESSION ET DE TEMPÉRATURE	17
7. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT	17
7.1. APPROVISIONNEMENT DES PIÈCES	17
7.2. SÉQUENCES DE FABRICATION	17
7.3. SOUDAGE	18
7.3.1. PRINCIPAUX PROCÉDÉS DE SOUDAGE UTILISÉS EN	
FABRICATION	18
7.3.2. TRAITEMENTS THERMIQUES	18
7.4. ESSAIS NON DESTRUCTIFS	18
7.5. ÉPREUVE HYDRAULIQUE EN USINE	20
7.6. MONTAGE SUR SITE	20

TABLEAUX :

TAB-5.3.1.1 PARAMÈTRES DE CONCEPTION DE LA CUVE	21
TAB-5.3.1.2 MATÉRIAUX DE LA CUVE.....	23

FIGURES :

FIG-5.3.1.1 VUE DE FACE	24
FIG-5.3.1.2 VUE DE DESSUS	25
FIG-5.3.1.3 SECTION PASSANT PAR LE PLAN DES TUBULURES	26
FIG-5.3.1.4 TUBULURE – ZONE DE RACCORDEMENT	27
FIG-5.3.1.5 NOMENCLATURE.....	28

.5.3.1 CUVE DU RÉACTEUR

1. DESCRIPTION

La cuve est constituée de deux éléments principaux :

- le corps de cuve du réacteur,
- le couvercle de cuve,


raccordés par les composants de fermeture (voir figures [FIG-5.3.1.1](#) à [FIG-5.3.1.3](#)).

Le corps de cuve du réacteur est composé des pièces suivantes, soudées par des soudures circulaires :

Partie supérieure

La partie supérieure est une pièce monobloc composée d'une virole porte-tubulures et d'une bride intégrée.

Le diamètre intérieur de la bride est usiné pour former l'épaulement qui supporte les équipements internes du réacteur (internes et cœur). La bride comporte des trous taraudés pour les goujons de fermeture, et sa surface supérieure est revêtue d'acier inoxydable et est usinée pour fournir une surface d'appui aux joints d'étanchéité. La collerette externe d'étanchéité est soudée sur la face extérieure de la bride. Cette pièce est raccordée au joint d'étanchéité de la piscine du réacteur qui assure l'étanchéité entre la bride de la cuve et le fond de la piscine du réacteur.

La virole porte-tubulures comporte huit ouvertures pour le raccordement aux tubulures des boucles primaires. La virole est renforcée en épaisseur sur la majeure partie de sa longueur, puisque monobloc avec la bride, compensant de cette manière les ouvertures des tubulures. À son extrémité inférieure, l'épaisseur de la virole porte-tubulures se réduit à celle de la virole du cœur pour que la soudure virole porte-tubulures / virole du cœur puisse être effectuée dans une zone d'épaisseur uniforme. Les tubulures sont des pièces forgées séparées, soudées sur la cuve . L'ensemble de la structure repose sur des patins situés sous les huit tubulures, répartis autour de la circonférence. Les patins d'appui sont monobloc avec les tubulures. Ces patins reposent sur l'anneau de support.

Partie inférieure

La partie inférieure est composée de deux viroles de cœur, d'un anneau de transition et d'une calotte de fond inférieur. Ces pièces forgées sont soudées les unes aux autres par des soudures circulaires. Les deux viroles de cœur cylindriques englobent la hauteur active du cœur et ne présentent aucune discontinuité. Un anneau de transition forgé assure la transition d'épaisseur entre la virole du cœur et la calotte du fond inférieur. Il est soudé à la virole inférieure du cœur dans une zone de géométrie cylindrique uniforme, et au fond inférieur dans une zone d'épaisseur uniforme.

Huit guides radiaux sont soudés sur la face intérieure de l'anneau de transition. Quatre de ces pièces permettent le centrage des internes inférieurs et toutes assurent une fonction de supportage secondaire du cœur afin de limiter les conséquences d'une défaillance hypothétique des internes inférieurs.

Le couvercle de la cuve est composé de deux pièces jointes par soudage :

- La bride du couvercle est un anneau forgé muni de trous pour les goujons de fermeture. La face inférieure de la bride comporte un revêtement et est usinée pour réaliser deux gorges de logement des joints d'étanchéité.
- La calotte est une pièce forgée de forme partiellement sphérique dans laquelle pénètrent des adaptateurs frettés et soudés de commande de grappes et d'instrumentation, le piquage de thermocouple sous dôme et le piquage d'évent.

À noter que le tube d'évent, le tube de thermocouple, le tube de connexion du thermocouple et le raccord réducteur (voir nomenclature dans le tableau [FIG-5.3.1.5](#)) ne font pas partie de l'équipement Cuve au sens de la réglementation ESPN.

La partie supérieure des adaptateurs de mécanismes de commandes de grappes est munie d'une bride de fixation à la bride de carter des mécanismes, soudée par friction sur l'adaptateur. Le même principe est appliqué pour les adaptateurs d'instrumentation.

Des plaques de fixation de manutention (ou des oreilles de levage), espacées régulièrement, sont soudées sur la calotte pour permettre la manutention du couvercle de la cuve.

Le centrage et le positionnement du couvercle de la cuve sur le corps de cuve du réacteur et des internes de cuve sont assurés par des broches de centrage solidaires des internes de cuve.

La surface intérieure de la totalité de la cuve comporte un revêtement en acier inoxydable.

Composants de fermeture

La boulonnerie permet d'assurer la fermeture et l'étanchéité du couvercle avec le corps de cuve du réacteur. Des goujons sont vissés dans les filetages de la bride de cuve et exercent un effort de serrage sur le couvercle par l'intermédiaire d'un système écrou-rondelle vissé sur les goujons.

2. LISTE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Les transitoires pris en compte dans la conception de la cuve sont représentatifs des situations de fonctionnement considérées pour l'exploitation. La durée de vie prévue pour les installations est de 60 ans. Les transitoires retenus constituent une base de référence pour l'évaluation du circuit primaire (RCP) afin d'assurer l'intégrité des équipements primaires.

Dimensionnement

La pression effective de calcul est de 17,5 MPa (176 bar abs). La température de calcul est de 351°C (pour la détermination de la contrainte admissible du matériel).

Analyse détaillée

D'une façon générale, deux grandes catégories de conditions d'étude sont utilisées pour l'analyse détaillée de la cuve :

- Les transitoires de pression et de température : voir section 3.6.1.1.
- Les efforts extérieurs appliqués aux liaisons avec les équipements en interface avec la cuve, lesquels regroupent les efforts de gravité et d'accélération, en cas de séisme, et dans certains cas, les efforts provenant d'une rupture de tuyauterie primaire.

Les situations étudiées, regroupées en quatre catégories, sont les suivantes :

- Situation de première catégorie (situation de référence) : Cette situation est caractérisée par la pression et la température de calcul, et les torseurs extérieurs générés par :
 - Le poids propre,
 - La pression,
 - L'expansion thermique,
 - Le SDI.
- Situations de deuxième catégorie (normales et perturbées) : Ces situations sont caractérisées par des pressions et des températures décrites pour chaque transitoire. Les torseurs extérieurs sont générés par :

- Le poids propre,
 - La pression,
 - L'expansion thermique,
 - Le SDI.
- Situations de troisième catégorie (exceptionnelles) : Ces situations sont caractérisées par des pressions et des températures décrites pour chaque transitoire. Les torseurs extérieurs sont générés par :
- Le poids propre,
 - La pression,
 - L'expansion thermique.
- Situations de quatrième catégorie (accidentelles) : Ces situations sont caractérisées par des pressions et des températures décrites pour chaque transitoire. Les torseurs extérieurs sont générés par :
- Le poids propre,
 - La pression,
 - L'expansion thermique,
 - Le SDD,
 - La rupture d'une tuyauterie.
- Situations d'épreuve : il est considéré 4 types d'épreuves dans le dimensionnement de la cuve (épreuve hydraulique individuelle avant installation en usine, épreuve hydraulique avant première exploitation, épreuve hydraulique périodique et le test d'étanchéité), caractérisées par des températures minimales et maximales, et des taux d'épreuve. Aucun torseur extérieur n'est considéré pour l'épreuve hydraulique individuelle avant installation en usine. En revanche, pour les 3 autres types d'épreuve, les torseurs extérieurs sont générés par :
- Le poids propre,
 - La pression,
 - L'expansion thermique.

3. PRINCIPES DE CONCEPTION ET OBJECTIFS

3.1. CLASSEMENT SÛRETÉ

La cuve du réacteur et les connexions associées jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

3.2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES SÉLECTIONNÉES

3.2.1. Corps de cuve : Conception du cœur

La cuve est conçue à partir des dimensions du cœur. Le cœur est composé de 241 éléments combustibles de 17x17 []. La hauteur active du cœur est de 4200 mm. Le critère de conception pour la virole du cœur est d'avoir une température de transition []. Le diamètre intérieur de la virole du cœur est de [] mm (sous le revêtement). Avec ce diamètre, un niveau de fluence en fin de vie d'environ [] n/cm² (E > 1 MeV) est obtenu dans les conditions suivantes :

- durée de vie de 60 ans,

- une gestion in-out de combustible à faibles fuites, avec des éléments combustibles UO_2 ,
- un cœur entouré d'un réflecteur lourd.

Pour une gestion du combustible de type out-in, la fluence en fin de vie peut atteindre \square n/cm² ($E > 1$ MeV). Cette valeur couvre le cas des gestions MOX.

L'objectif reste atteint avec cette valeur de fluence. Il est en particulier vérifié que la température de transition RT_{NDT} en fin de vie, reste inférieure à \square °C.

3.2.2. Corps de cuve : Conception de la partie supérieure

Le principe de conception de l'ensemble virole porte-tubulures/bride consiste en une pièce forgée monobloc, ce qui permet de diminuer le nombre de soudures circulaires, particulièrement dans le cas de l'assemblage de pièces de forte épaisseur. \square

La tubulure elle-même est soudée sur une attente de soudage axisymétrique usinée sur la virole forgée. Ceci permet de faciliter l'opération de soudage et les possibilités de contrôle. Pour diminuer la perte de charge dans les tubulures d'entrée, la zone d'implantation de ces tubulures présente un profil intérieur conique \square .

La différence d'altitude entre le plan médian des tubulures et le haut du cœur actif a été prise en considération avec l'objectif de réduire au minimum les conséquences d'un dénoyage du cœur en cas de brèche intermédiaire.

En conséquence, la hauteur entre le plan médian des tubulures et le plan de joint a été fixée \square , afin de limiter la hauteur totale de la cuve et de tenir compte de la possibilité d'une fabrication 'monobloc' de la partie supérieure.

3.2.3. Corps de cuve : Conception de la partie inférieure

La partie inférieure est composée des éléments suivants :

- les deux viroles de cœur,
- l'anneau de transition,
- le fond inférieur.

Les viroles du cœur sont dimensionnées de manière à satisfaire les exigences de fluence en fin de vie, en tenant également compte des hauteurs exigées pour les éléments combustibles (hauteur active du cœur) et les Equipements Internes Inférieurs. Les deux viroles de cœur englobent en particulier la hauteur active du cœur et ne présentent aucune discontinuité.

Le fond inférieur est de type sphérique, raccordé au corps de cuve par l'intermédiaire de l'anneau de transition.

Le fond inférieur est dimensionné avec le même rayon intérieur que le fond supérieur (pour des motifs liés au forgeage). Du fait de l'absence de pénétrations de fond de cuve, aucune ouverture n'est à prendre en compte, si bien qu'il n'est pas nécessaire de renforcer l'épaisseur de paroi. En outre, la hauteur entre le bas de la PSC (Plaque Support de Cœur) et le fond de la cuve a été diminuée (pour des raisons de limitation du volume de l'accumulateur).

L'anneau de transition assure la transition d'épaisseur entre la virole du cœur et la calotte du fond inférieur. Des guides radiaux sont situés sur la face intérieure de l'anneau de transition.

3.2.4. Conception du couvercle de la cuve

L'épaisseur et la hauteur de la bride du couvercle sont calculées en fonction des points suivants :

- capacité d'approvisionnement en lingots,

- limitation de la rotation de la bride et du niveau de contraintes à la jonction avec la calotte du fond supérieur.

Le fond supérieur a le même rayon sphérique intérieur que le fond inférieur du corps de cuve. L'angle d'ouverture est ajusté, en tenant compte :

- des dimensions de la bride,
- de la hauteur du couvercle,
- de l'emplacement des adaptateurs périphériques.


L'épaisseur de la calotte du fond supérieur est déterminée par l'application de règles de renforcement.



3.3. DIMENSIONS PRINCIPALES

Les dimensions principales de la cuve sont données sur les figures [FIG-5.3.1.1](#) à [FIG-5.3.1.3](#), et sont rappelées dans le tableau [TAB-5.3.1.1](#).

3.4. MATÉRIAUX

Le choix des matériaux, leur élaboration et leurs caractéristiques mécaniques sont en conformité avec le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6), Partie « Matériaux ». Une liste des matériaux est donnée dans le tableau [TAB-5.3.1.2](#). Le métal de base est le  standard (désignation française).

3.5. CONTRÔLABILITÉ

Lors de sa fabrication, la cuve est contrôlée des deux côtés (intérieur/extérieur) et les contrôles sont réalisés conformément aux exigences du RCC-M.

Lorsque la cuve est en service, le corps de cuve peut être contrôlé principalement par l'intérieur parce qu'un calorifuge entoure la face extérieure de la cuve. Toutes les soudures et les autres zones particulières à surveiller sont inspectables à partir de l'intérieur de la cuve.

3.6. CONCEPTION DES SUPPORTS

La cuve repose sur des patins situés sous les huit tubulures. Ces patins d'appui sont monobloc avec les tubulures et reposent sur un anneau de support (voir section 5.4.9). L'épaisseur des tubulures est dimensionnée en considérant que la cuve est soutenue par les huit patins de supportage en situation de référence et en régime accidentel grave. Le mouvement vertical de la cuve est limité par les boucles lors d'un accident grave.

3.7. LIAISONS

Les liaisons principales entre la cuve et les autres équipements sont listées ci-après (la pièce en interface est rappelée entre parenthèses) :

Liaisons cuve / internes de cuve (voir section 5.3.2 et section 5.3.3)

- *Bride de cuve et épaulement (brides des internes supérieurs et inférieurs et broches de centrage)*
Le support des internes de cuve sur la bride de cuve permet un positionnement rapide des internes inférieurs comme supérieurs au cours des opérations de rechargement. L'épaulement usiné sur le diamètre intérieur de la bride assure la fonction de support des internes de cuve. Le positionnement du couvercle de cuve sur le corps de cuve est assuré par des broches de centrage fixées aux internes et venant se loger dans des encoches usinées dans la bride de cuve et dans la bride du couvercle.
- *Tubulures de sortie de la cuve (tubulures de l'enveloppe de cœur)*

Un bossage est usiné sur le contour intérieur de la zone d'implantation de la tubulure de sortie de la cuve afin de limiter le débit de by-pass à chaud. A froid, l'écartement est suffisamment grand pour permettre la dépose des internes inférieurs sans le moindre risque d'interférence.

- *Guides radiaux inférieurs (clavettes de maintien radial et plaque support inférieure du cœur)*
Le système de maintien radial inférieur est constitué de huit clavettes radiales, qui sont soudées sur la paroi de la cuve et s'engagent dans des glissières de maintien radial fixées à la périphérie du fond support de cœur.
Quatre de ces clavettes, sur les axes principaux de la cuve, assurent le centrage tangentiel des équipements internes inférieurs (jeu faible en fonctionnement normal) et servent de butées radiales (jeu relativement grand) dans les situations de 4^{ème} catégorie. Les quatre autres clavettes ne servent que de butées radiales.
Une fonction de supportage secondaire des internes de cuve est également assurée par l'ensemble des clavettes radiales.

Liaisons cuve / ensemble MCG (mécanismes de commande de grappes) (voir section 5.3.4)

- *Cuve / Adaptateurs de mécanisme de commande de grappe (bride de carter des mécanismes)*

Emplacement : (voir figure [FIG-5.3.1.1](#) et [FIG-5.3.1.2](#)).

Nombre : 89.

Les 89 adaptateurs de mécanismes de commandes de grappes sont composés d'un tube et d'une bride. Le tube est soudé sur le couvercle de cuve. La bride d'adaptateur est attachée par des boulons à la bride du carter des mécanismes. Le dispositif d'étanchéité au niveau de la liaison entre les deux brides consiste en deux joints d'étanchéité circulaires en métal [1].

Liaisons cuve / dispositifs d'instrumentation (voir section 7.5.2 et section 7.5.5)

- *Cuve / adaptateurs d'instrumentation (sondes de mesure de niveau, lances d'instrumentation comprenant les sondes à billes « aeroball », les détecteurs fixes de neutrons (SPN) et les thermocouples de sortie cœur).*

Emplacement : (voir figure [FIG-5.3.1.2](#)).

Nombre : 16 positions périphériques sont utilisées.

Les adaptateurs d'instrumentation sont également composés d'un tube et d'une bride. La bride est spécialement conçue pour être raccordée à une colonne d'instrumentation (sondes de mesure de niveau ou lances d'instrumentation interne du cœur). Le contour intérieur de la bride d'adaptateur est fileté pour le raccordement à la colonne d'instrumentation. Le dispositif d'étanchéité à l'extrémité supérieure de ces adaptateurs à bride consiste en un joint canopy soudé. Le démontage de l'instrumentation se fait au niveau de la colonne d'instrumentation.

Nota : l'instrumentation de mesure de la température du dôme est constituée d'un piquage et du tube-guide de thermocouple du dôme.

Liaison cuve / système d'évent

Emplacement : (voir figures [FIG-5.3.1.1](#) et [FIG-5.3.1.2](#)).

Nombre : 1.

Cette liaison est composée d'un piquage et d'un tube. La pénétration est soudée sur le couvercle de cuve. Le tube en acier inoxydable est composé d'une partie coudée et d'une partie droite horizontale permettant la connexion au système d'évent.

Liaison cuve / piscine en béton

Le couvercle de cuve permet le déchargement et le rechargement du cœur et la dépose des internes de cuve. Ces opérations sont effectuées avec la piscine du réacteur remplie d'eau. Des dispositions sont prises pour assurer l'étanchéité à l'eau de la piscine du réacteur. L'étanchéité à l'eau est assurée par l'anneau d'étanchéité de la piscine du réacteur. Cette pièce est soudée sur la collerette d'étanchéité extérieure de la bride de cuve d'un côté, et sur le revêtement d'étanchéité de la piscine de l'autre côté.

Liaison cuve / équipements du couvercle

Le couvercle de la cuve est équipé d'oreilles de levage assemblées avec les tiges verticales du dispositif de levage du couvercle de la cuve. Des tiges de guidage montées sur deux des taraudages de la bride de cuve permettent de guider le couvercle lors des opérations d'ouverture/fermeture de la cuve.

Liaison cuve / machine de serrage et desserrage des goujons de cuve (MSDG)

Les procédures de rechargement exigent que les goujons, écrous et rondelles soient enlevés du couvercle du réacteur à l'aide de la MSDG. Les goujons de fermeture du réacteur ne sont par conséquent jamais exposés à l'eau borée de la piscine du réacteur. □

Les taraudages réalisés dans la bride de cuve sont obturés à l'aide de bouchons spéciaux avant la dépose du couvercle de cuve, empêchant ainsi une infiltration de l'eau borée de remplissage dans les taraudages.

Liaison cuve / tuyauteries primaires

Emplacement : (voir figures [FIG-5.3.1.1](#) et [FIG-5.3.1.2](#)).

Nombre : 8.

Cette liaison est composée de 8 tubulures et de 8 embouts. Les tubulures sont soudées sur la virole porte tubulure (soudures set-on). Les embouts en acier inoxydable permettent la connexion aux branches froides et chaudes des tuyauteries primaires.

Liaison cuve / système de détection de fuite

Emplacement : (voir figures [FIG-5.3.1.1](#) et [FIG-5.3.1.2](#)).

Nombre : 1.

Cette liaison est composée d'un tube débouchant sur le plan de joint de la cuve et localisé entre les deux joints montés dans les rainures pratiquées sur le plan de joint du couvercle. Ce tube en acier inoxydable permet la connexion au système de détection de fuite.

Liaison couvercle / mesure de température sous dôme

Emplacement : (voir figures [FIG-5.3.1.1](#) et [FIG-5.3.1.2](#)).

Nombre : 1.

Cette liaison est composée d'un piquage et d'un tube. La pénétration est soudée sur le couvercle de cuve. Le tube en acier inoxydable est composé d'une partie coudée et d'une partie droite horizontale permettant la connexion avec le thermocouple par l'intermédiaire d'un raccord swagelok.

4. MATÉRIAUX

Les différents matériaux utilisés pour la cuve sont rappelés dans le tableau [TAB-5.3.1.2](#).

4.1. METAL DE BASE

L'acier ferritique faiblement allié \square est utilisé pour les viroles, les brides, l'anneau de transition, les tubulures et les fonds hémisphériques.

Le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) donne les spécifications concernant les compositions chimiques, les caractéristiques mécaniques et le traitement thermique définis pour le métal de base.

Conformément au RCC-M, les compositions chimiques définies tiennent compte des évolutions suivantes, par comparaison avec la norme AS (à noter que les impositions du RCC-M sont complétées par des exigences contractuelles, définies dans les spécifications d'équipement) :

- Limitation du seuil supérieur de teneur en carbone, pour une soudabilité et une ductilité globale améliorées.
- Abaissement de la limite supérieure de teneur en soufre à \square % pour les composants non soumis à l'irradiation ainsi que pour les composants situés dans la zone de cœur irradiée. Cette exigence permet de limiter les effets d'anisotropie sur les caractéristiques mécaniques ; la ténacité au niveau du palier ductile augmente notamment dans le sens transversal (perpendiculaire au sens principal de déformation par transformation à chaud).
- Dans la zone active du cœur soumise au niveau d'irradiation élevé (viroles du cœur), les teneurs en cuivre et en phosphore sont limitées respectivement à \square % et \square %. Cette exigence permet de limiter les effets de fragilisation par irradiation.
- Abaissement à \square % de la teneur maximale en phosphore limitée pour les composants de la cuve non soumis à l'irradiation.
- Limitation de la limite supérieure des teneurs en chrome et en vanadium. Cette exigence est liée à la réduction du risque de fissuration sous revêtement.
- Limitation de la teneur en cobalt. Cette exigence est liée à l'abaissement du niveau de rayonnement sur la paroi intérieure de la cuve.
- Une très faible teneur en éléments résiduels est également exigée afin d'obtenir de bonnes caractéristiques de ténacité et une bonne soudabilité.

A l'issue du forgeage, les pièces sont soumises à différents traitements thermiques. Les températures des traitements d'austénitisation, de revenu et de détensionnement sont données dans le RCC-M.

Après le traitement thermique final, les pièces sont usinées et des coupons témoins du métal de base sont prélevés. Les caractéristiques mécaniques de traction et les caractéristiques de ténacité exigées sont rappelées dans le RCC-M. Les éprouvettes sont prélevées sur le quart intérieur de l'épaisseur pour les viroles et les fonds hémisphériques. Pour les autres pièces de dimensions supérieures, l'emplacement des éprouvettes dépend de la géométrie particulière de la pièce.

L'assurance d'une résilience adéquate des matériaux ferritiques dans le circuit primaire principal (RCC-M, composants de Niveau 1) est obtenue par la conformité aux exigences relatives aux essais de ténacité, contenues dans les spécifications d'approvisionnement des composants du réacteur.

Des essais complémentaires sont obligatoires pour la détermination de la température initiale de ductilité nulle de référence RT^0_{NDT} . Les essais Charpy V comme les essais Pellini sont réalisés pour déterminer cette température qui sert de référence pour définir la limite inférieure des courbes de ténacité.

Les valeurs spécifiées de température initiale RT^0_{NDT} sont exigées pour toutes les pièces forgées de la cuve. Pour les pièces forgées, zone du cœur comprise, il est exigé que la température initiale RT^0_{NDT} soit inférieure ou égale à \square °C.

4.2. AUTRES MATÉRIAUX DE LA CUVE

4.2.1. Revêtement de la cuve

L'utilisation d'acier inoxydable fortement sensibilisé comme matériau de fabrication de l'enceinte sous pression a été interdite. Un échantillon est prélevé directement sur le revêtement inox de la paroi de la cuve, pour faire l'objet de différents tests afin de s'assurer que les exigences relatives à la composition et à la ferrite delta sont satisfaites.

Un revêtement inoxydable \square est déposé sur la surface intérieure de la paroi de la cuve. \square

\square

L'épaisseur de la \square permet également des opérations de rectification pour rendre compatible l'état de surface du revêtement avec un contrôle par ultrasons (UT) de l'adhérence du revêtement.

4.2.2. Goujons de cuve

Les goujons de la cuve sont fabriqués avec un acier à haute résistance. \square

4.2.3. Embouts de sécurité de cuve

Des embouts de sécurité sont soudés sur les tubulures de la cuve lors de la fabrication pour éviter d'avoir à réaliser une soudure bimétallique lors du montage sur site. Les embouts de sécurité sont fabriqués à partir d'anneaux forgés en acier inoxydable austénitique Cr-Ni-Mo, et soudés à la tubulure ferritique \square .

4.2.4. Adaptateurs et guides radiaux de cuve

Les adaptateurs, ainsi que les deux piquages d'évent et de thermocouple dôme, comme les guides radiaux, sont fabriqués à partir d'un alliage Ni-Fe-Cr. La nuance Inconel \square est retenue parce que son coefficient de dilatation thermique est très proche de celui du métal de base et que sa contrainte admissible reste proche de celle du métal de base (voir [TAB-5.3.1.2](#) pour les caractéristiques mécaniques définies). Les études concernant cet alliage montrent qu'il n'est pas sensible à la fissuration par corrosion sous contrainte. Ces pièces sont soudées à la cuve en utilisant un métal d'apport Ni-Fe-Cr \square .

5. CONCEPTION MÉCANIQUE

Les règles de conception formulées dans le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) et les limites de contraintes spécifiées au Chapitre B du RCC-M sont destinées à prévenir les types de dommages suivants pour la cuve :

- Déformation excessive et instabilité plastique.
- Déformation progressive et fissuration due à la fatigue.
- Rupture brutale.

Une analyse concernant la prévention contre le risque de rupture brutale est présentée au [§ 6.1.](#)

5.1. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT

Les objectifs principaux des calculs de dimensionnement effectués dans la phase de conception du réacteur EPR sont de parvenir à une conception de la cuve assurant la vérification des critères des

conditions de référence (pression de calcul), liés à la prévention contre le risque de déformation excessive et d'instabilité plastique.

Cette étude comprend le calcul de l'épaisseur minimum de dimensionnement pour toutes les pièces principales de la cuve et les calculs de renforcement dans la zone d'emplacement d'ouvertures (tubulures d'entrée et de sortie et ouvertures dans la calotte du couvercle). Les règles de conception exposées dans le RCC-M (Partie I, Chapitre B) sont appliquées. La pression de calcul est de 176 bar. La température de calcul est de 351°C.

Les épaisseurs des parois principales sont les suivantes (sans revêtement) :

- Adaptateurs : mm (instrumentation) ; mm (mécanismes de commande).
- Calotte supérieure : mm.
- Virole porte-tubulures : mm.
- Tubulures d'entrée/de sortie :
 - dans la zone de renforcement : mm.
 - en dehors de la zone de renforcement : mm.
- Embouts de sécurité : mm.
- Viroles du cœur : mm.
- Calotte inférieure : mm.

Les goujons sont dimensionnés pour la pression de calcul, en tenant compte de la poussée hydrostatique, et la réaction du joint est définie suivant le RCC-M.

5.2. CONCEPTION DES SOUS-ENSEMBLES

5.2.1. Sous-ensembles de cuve concernés par l'analyse des chargements accidentels

Certaines pièces de la cuve, particulièrement sollicitées en cas de chargements accidentels, sont dimensionnées à l'aide de critères liés aux conditions de niveau correspondantes, comme exigé dans le Chapitre B, Partie 1 du RCC-M. Les sous-ensembles de la cuve dont la conception est concernée par les cas de charges accidentelles sont les suivants :

- les tubulures de cuve et les patins d'appui,
- les guides radiaux de la cuve situés au niveau de l'anneau de transition de la cuve,
- les adaptateurs de cuve fixés au niveau de la calotte du fond supérieur.

L'épaisseur de dimensionnement des tubulures est acceptable pour les situations accidentelles (y compris les accidents de type APRP et les chargements sismiques).

Les guides radiaux sont dimensionnés en tenant compte des accidents de type APRP et des chargements sismiques. La rigidité locale au niveau de l'anneau de transition limite le niveau des contraintes dans la paroi de la cuve. Les guides radiaux sont également dimensionnés pour résister en cas d'accident de rupture des internes de cuve.

L'épaisseur de dimensionnement des adaptateurs est acceptable dans les situations de chargement sismique.

5.2.2. Analyses de déformation progressive et de fissuration par fatigue

En ce qui concerne la prévention contre la déformation progressive et le risque de fissuration par fatigue de la cuve, l'approche a été basée sur le retour d'expérience, partout où il était possible de conserver une conception classique et déjà connue.

C'est le cas pour toutes les zones principales de la cuve où se trouvent les discontinuités majeures, à l'exception d'une zone, qui a nécessité une analyse particulière. Cela concerne la zone des tubulures □ :

Des calculs ont été effectués afin d'étudier la liaison entre les tubulures □ et la cuve. Une analyse destinée à évaluer les marges par rapport au risque de déformation progressive et de fissuration par fatigue a été notamment réalisée.

□

6. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE DE SÛRETÉ

6.1. ANALYSE DE LA MÉCANIQUE DE RUPTURE

Des analyses de mécanique de la rupture sont également effectuées pour évaluer les marges par rapport au risque de rupture brutale dans les situations les plus graves envisagées. La mise en service du circuit d'injection de sécurité (RIS-RA), suite à un accident de perte de réfrigérant primaire ou à une rupture de tuyauterie vapeur, génère des contraintes thermiques relativement importantes dans la virole du coeur qui entre en contact avec l'eau d'injection de sécurité.

Les principes et les procédures de la Mécanique de la Rupture élastique linéaire sont appliqués pour évaluer les effets thermiques dans les zones les plus sollicitées. L'approche élastique linéaire de la mécanique de la rupture est utilisée au stade de la conception pour se prémunir du risque de rupture brutale ; elle est basée sur un examen d'intensités de contraintes, dans lequel des critères d'instabilité relative à la rupture sont définis en présence d'un défaut. Par conséquent, une hypothèse de base utilisée dans la Mécanique de la Rupture élastique linéaire est qu'une défautuosité ou qu'un défaut de type fissure est présent(e) dans la structure. Le principe de base de l'approche est d'établir un lien entre le champ de contraintes développé au voisinage du fond de fissure et la contrainte appliquée sur la structure, les caractéristiques des matériaux, et la taille de défaut nécessaire pour provoquer une rupture brutale.

Le champ de contraintes élastiques au fond de la fissure du défaut considéré est décrit par un simple paramètre, appelé facteur d'intensité de contrainte, et désigné par K . La grandeur du facteur d'intensité de contrainte K est fonction de la géométrie du corps contenant le défaut, de la taille et de l'emplacement du défaut, ainsi que de l'intensité et de la répartition de la contrainte.

Le critère de rupture brutale en présence d'un défaut est qu'une instabilité du défaut apparaît lorsque le facteur d'intensité de contrainte dépasse une certaine valeur critique. Pour le chargement sollicitant le mode d'ouverture (du défaut) (contraintes perpendiculaires au plan principal du défaut), le facteur d'intensité de contrainte est désigné par K et le facteur d'intensité de contrainte critique est désigné par K_{1c} , K_{1c} étant une caractéristique inhérente au matériau qui dépend de la température au fond du défaut et qui est indexée par la température de transition RTNDT pour le matériau considéré. Toute combinaison de charge appliquée, configuration de structure, géométrie et dimension de défaut, qui produit un facteur d'intensité de contrainte supérieur ou égal à K_{1c} pour le matériau, conduira à une instabilité du défaut.

Le critère d'applicabilité de la Mécanique de la Rupture élastique linéaire repose sur des considérations de plasticité au fond de la fissure considérée. La stricte applicabilité (telle que définie par l'AS) de la Mécanique de la Rupture élastique linéaire à des structures de grandes dimensions où des conditions de déformation plane prédominent exige que la zone plastique développée au fond de la fissure soit peu étendue en comparaison de la profondeur du défaut. La Mécanique de la Rupture élastique linéaire a toutefois été utilisée avec succès pour fournir des évaluations conservatives de prévention de rupture fragile, même dans des cas où une stricte application de la théorie n'est pas permise à cause d'une plasticité excessive. Des résultats expérimentaux ont montré que la Mécanique de la Rupture élastique linéaire peut être appliquée de façon conservative tant que la composante de pression de la contrainte ne dépasse pas la limite élastique du matériau. L'ajout des contraintes thermiques, calculées élastiquement, qui conduit à un total des contraintes dépassant la limite élastique, n'affecte pas le conservatisme des résultats, à condition que ces contraintes thermiques soient intégrées dans l'évaluation des facteurs d'intensité de contrainte. Pour l'analyse des situations

de 4^{ème} catégorie, la Mécanique de la Rupture élastique linéaire est par conséquent considérée comme applicable pour l'évaluation de la stabilité du défaut.

De plus, il a été bien établi que la propagation des fissures de défauts présents dans une structure soumise à des charges cycliques peut être définie suivant les paramètres de la Mécanique de la Rupture. Les principes de la Mécanique de la Rupture élastique linéaire sont donc également applicables à l'accroissement par fatigue d'un défaut considéré dans la zone de cœur.

6.2. EXIGENCES CONCERNANT L'INSPECTION EN SERVICE

6.2.1. Surveillance de l'irradiation des matériaux

Dans le programme de surveillance, l'évaluation de l'endommagement par irradiation repose sur des essais de pré-irradiation effectués sur des éprouvettes Charpy V et des éprouvettes de traction, et des essais de post-irradiation effectués sur des éprouvettes Charpy V, des éprouvettes de traction, et des éprouvettes CT de mécanique de rupture 1/2 T (épaisseur). Le programme est orienté vers l'évaluation de l'effet de l'irradiation sur la ténacité des aciers de cuve et repose sur une approche associant température de transition et mécanique de rupture.

Le programme de surveillance de la cuve fait appel à des capsules d'éprouvettes, qui sont logées dans des paniers d'irradiation fixés sur l'extérieur de l'enveloppe du cœur, et positionnées directement en face de la partie centrale du cœur. Ces capsules peuvent être enlevées lorsque le couvercle de la cuve et les internes supérieurs sont déposés. Toutes les capsules contiennent des éprouvettes d'acier de cuve du métal de base des deux viroles de cœur, inférieure et supérieure, du métal déposé associé et du métal de la zone affectée thermiquement. Chaque capsule renferme des éprouvettes de traction, des éprouvettes Charpy V (qui contiennent du métal déposé et du métal de la zone affectée thermiquement), et des éprouvettes CT. Des matériaux de réserve sont conservés en quantité suffisante pour des capsules supplémentaires.

Des dosimètres à activation et à fission sont placés dans des blocs avec trous calibrés. Les dosimètres permettent d'évaluer la fluence observée par les éprouvettes. Des indicateurs de température en alliages à bas point de fusion sont en outre intégrés pour surveiller la température maximale des éprouvettes. Les éprouvettes sont enfermées dans une enveloppe en inox ajustée, pour empêcher toute corrosion et assurer une bonne conductivité thermique. La capsule entière est soumise à un essai d'étanchéité à l'hélium.

En tant que partie du programme de surveillance, un rapport relatif aux éléments résiduels est établi pour les matériaux de surveillance et le métal déposé par soudage.

L'exposition des éprouvettes aux neutrons rapides s'opère à un débit plus rapide que celui auquel est soumise la paroi de la cuve, les éprouvettes étant situées entre le cœur et la cuve. Etant donné que ces éprouvettes subissent une irradiation accélérée et que ce sont de véritables échantillons provenant des matériaux utilisés dans la cuve, les mesures de décalage de la température de transition sont représentatives de la cuve à un âge plus avancé. Les informations issues des éprouvettes CT fournissent également des renseignements complémentaires pour déterminer directement la ténacité des matériaux irradiés.

Des corrélations sont établies entre les calculs du flux intégré et les mesures des échantillons irradiés dans les capsules, en supposant que le spectre de neutrons sur les échantillons est proche de celui sur la paroi interne de la cuve.

Le degré attendu de perturbation du flux rapide et de la distribution d'énergie par les éprouvettes sera pris en considération dans l'évaluation des données d'irradiation. Une vérification et un éventuel réajustement de l'irradiation calculée pour la paroi seront effectués à l'aide des données sur toutes les capsules prélevées. Le programme de prélèvement des capsules pour les essais de post-irradiation sera donné dans le programme de surveillance de la cuve.

6.2.2. Inspection en service

La surface intérieure de la cuve peut être inspectée périodiquement, principalement en visite décennale, en utilisant la Machine d'Inspection en Service (MIS). Les internes inférieurs peuvent être démontés, rendant ainsi l'ensemble de la surface intérieure de la cuve accessible.

Le couvercle de la cuve fait l'objet d'un examen télévisuel lors de chaque visite décennale. Des dispositifs optiques permettent un contrôle sélectif du revêtement et de la portée de joint.

Les goujons de fermeture doivent être contrôlés périodiquement au moyen d'examen visuel, par ressuage et par courants de Foucault.

Durant les études détaillées, un « Plan Initial de Maintenance » sera établi pour la surveillance en service de la cuve et du couvercle. Il permettra de définir précisément les zones à inspecter et permettra également de définir les moyens en END à qualifier avant la VCI (Visite Complète Initiale). Toutes les soudures sont accessibles pour l'inspection en service :

- viroles de cuve - par la surface intérieure : inspection par ultrasons,
- tubulures primaires - par la surface intérieure : inspection par ultrasons,
- fond inférieur - par la surface intérieure : inspection par ultrasons,
- soudures bimétalliques entre les tubulures de cuve et la tuyauterie principale - par les surfaces intérieures et extérieures : inspection par radiographie, ultrasons et liquide pénétrant.

Les considérations qui ont été intégrées dans la conception pour permettre les contrôles mentionnés ci-dessus sont les suivantes :

- tous les internes de cuve sont entièrement démontables,
- le couvercle de la cuve est rangé à sec sur le plancher de service du réacteur pendant le rechargement pour faciliter le contrôle visuel direct,
- tous les goujons, écrous et rondelles de la cuve peuvent être enlevés pour stockage à sec pendant le rechargement,
- le calorifuge recouvrant les soudures entre tubulure et tuyauterie primaire peut être enlevé,

L'accès au corps de cuve doit être réglementé en raison des niveaux de rayonnement et de son accessibilité à distance sous l'eau. Plusieurs dispositions ont été intégrées pour ces raisons dans les exigences de conception et les procédures de fabrication, afin de faciliter les contrôles périodiques non destructifs qui sont exigés dans les textes réglementaires, à savoir :

- des contrôles par ultrasons sont effectués en usine sur toutes les surfaces revêtues intérieurement, suivant des critères d'acceptation et de réparation, pour s'affranchir de la présence de défauts d'adhérence qui perturberaient les examens ultérieurs par ultrasons du métal de base réalisés par la surface intérieure,
- la géométrie de la virole de cuve est une surface cylindrique non encombrée pour permettre le positionnement ultérieur de l'appareillage d'essai sans aucune gêne,
- les surfaces de revêtement des deux côtés des soudures à contrôler font l'objet d'une préparation spéciale pour garantir la performance des contrôles par ultrasons,
- lors de la fabrication, toutes les soudures ferritiques à pleine pénétration de l'enceinte sous pression sont examinées par ultrasons.

La conception et la construction de la cuve ont pour objectif de permettre les contrôles, tel que l'exige la réglementation applicable aux CNPE français.

6.3. LIMITATION DE PRESSION ET DE TEMPÉRATURE

Les limites de fonctionnement au démarrage et à l'arrêt sont basées sur les caractéristiques des matériaux de la zone du cœur de la cuve. Les données mesurées des caractéristiques des matériaux sont utilisées.

Les courbes de fonctionnement initiales sont calculées en prenant comme hypothèse une durée de fonctionnement du réacteur, limitée par la fragilisation sous irradiation du matériau de la zone de cœur. Les caractéristiques du matériau de la zone de cœur se dégradent avec l'irradiation, et cette dégradation est mesurée en fonction de la température de ductilité nulle de référence corrigée qui intègre un décalage de la température de ductilité nulle de référence (ΔRT_{NDT}).

Les valeurs ΔRT_{NDT} prédites sont dérivées à l'aide de deux paramètres : l'effet de la fluence et l'effet des teneurs en cuivre, phosphore et nickel sur le décalage de ΔRT_{NDT} pour les matériaux situés dans la zone de cœur (métal de base et métal déposé).

Les fluences maximales, en fond du défaut conventionnel du code, sont calculées pour divers moments sélectionnés de la vie du réacteur et des courbes de pression / température sont établies.

7. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT

7.1. APPROVISIONNEMENT DES PIÈCES

Les pièces principales de la cuve sont obtenues par forgeage conformément aux prescriptions du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

Les conditions et modalités de la trempe appliquées aux pièces principales du corps de cuve en acier faiblement allié sont précisées dans le programme technique de fabrication.

La partie supérieure de la cuve est fabriquée en partant d'un lingot \square . Les profils d'obtention intérieurs et extérieurs sont usinés dans une pièce globale de forme adaptée. De cette manière, l'épaulement support des internes, l'ajutage (intérieur) et l'attente de soudage des tubulures sont tous usinés à partir d'une pièce forgée de forte épaisseur.

Cette partie supérieure de cuve (virole porte-tubulures monobloc) a fait l'objet d'une qualification M140 selon RCC-M, dont les résultats permettent de s'assurer des bonnes propriétés mécaniques et métallurgiques de la pièce. L'obtention de ces propriétés mécaniques est, en partie, conditionnée par le traitement thermique de trempe.

Toutes les autres pièces de la cuve nécessitent un poids de lingots inférieur à \square t. Des lingots conventionnels (pleins) sont utilisés pour la fabrication de la bride du couvercle, de l'anneau de transition et des tubulures. Des lingots pleins sont utilisés pour les deux viroles de cœur ainsi que pour les fonds hémisphériques du couvercle et de la cuve.

7.2. SÉQUENCES DE FABRICATION

La fabrication du corps de cuve est divisée en deux sous-ensembles :

Sous-ensemble supérieur

Le sous-ensemble supérieur est composé de la partie supérieure de la cuve et des huit tubulures et embouts de sécurité. \square . Avant montage, chaque tubulure est équipée d'un embout de sécurité en inox. L'opération de soudage de l'embout de sécurité est réalisée par un procédé de soudage \square , avec un métal d'apport Ni-Cr-Fe \square . \square Ce procédé permet d'obtenir une bonne productivité et une bonne contrôlabilité par ultrasons.

Toutes les surfaces internes ferritiques, le plan de joint de la bride, et la surface supérieure de la bride, jusqu'à l'emplacement de l'anneau d'étanchéité, ont un revêtement en acier inoxydable. Plusieurs procédés sont mis en œuvre pour réaliser ces revêtements \square .

Sous-ensemble inférieur

Le sous-ensemble inférieur est composé des deux viroles du cœur, de l'anneau de transition et du fond hémisphérique inférieur. Les deux viroles du cœur sont jointes par soudage [1]. Cet ensemble est doté d'un revêtement [1]. Les guides radiaux sont soudés [1] sur l'anneau de transition. L'anneau de transition et le fond inférieur sont soudés ensemble, avant l'assemblage final de l'ensemble inférieur.

La fabrication de ces deux sous-ensembles est réalisée en parallèle. Une fois terminés, les deux sous-ensembles sont joints par soudage.

[1]

La fabrication du couvercle de la cuve est réalisée de façon indépendante.

Toutes les surfaces internes ferritiques et le plan de joint de la bride du couvercle ont un revêtement inoxydable. Plusieurs procédés sont utilisés pour réaliser ces revêtements.

La calotte du couvercle et la bride du couvercle sont jointes par soudage [1]. Les adaptateurs sont emmanchés par frettage et soudés [1].

7.3. SOUDAGE

7.3.1. Principaux procédés de soudage utilisés en fabrication

[1]

7.3.2. Traitements thermiques

Les opérations de soudage et de revêtement sur le métal de base demandent des précautions particulières, relatives aux traitements thermiques. Les pièces à assembler sont préchauffées avant et pendant l'opération de soudage à une température minimale de [1]°C, pour éviter une fissuration due à l'hydrogène dans la ZAT (zone affectée thermiquement).

Après soudage, les assemblages bout à bout subissent un traitement thermique de postchauffage [1] afin de permettre la diffusion de l'hydrogène hors de la ZAT.

Au stade final, la cuve est soumise au traitement thermique final de détensionnement, [1]. Ce traitement est effectué à une température inférieure à la température minimale de revenu (et permet la relaxation des contraintes, sans conduire à une diminution importante des caractéristiques mécaniques).

7.4. ESSAIS NON DESTRUCTIFS

Plusieurs types d'essais non destructifs sont effectués pendant la fabrication.

Examens de surface

Préalablement au soudage, les surfaces latérales des chanfreins sont contrôlées par magnétoscopie. Le même contrôle est aussi effectué sur la surface intérieure des joints soudés avant revêtement (examen par magnétoscopie à chaud). Des contrôles par ressuage (PT) sont également utilisés pour d'autres surfaces intérieures avant revêtement. Ces contrôles garantissent une surface du métal de base exempte de défauts qui pourraient subsister ou qui pourraient évoluer du fait de leur présence pendant l'opération de revêtement. Des contrôles par ressuage sont également effectués, une fois le revêtement réalisé.

L'examen par ressuage est également utilisé pour le contrôle final des soudures des adaptateurs et pour les soudures des guides radiaux.

Conformément aux critères définis dans le RCC-M (chapitre S 7000), tout défaut de type linéaire ou fissure, détecté par l'une ou l'autre de ces deux méthodes de contrôle, fait l'objet d'une procédure de réparation.

Une fois le traitement thermique de détensionnement effectué, les surfaces sont contrôlées suivant le RCC-M (chapitre S 7000).

Examens volumiques

Toutes les soudures circulaires à pleine pénétration sont contrôlées à 100% par ultrasons (UT), préalablement à la réalisation du revêtement et après celle-ci.

En complément à ces contrôles, les zones suivantes font l'objet d'un contrôle par ultrasons suivant le RCC-M, après le traitement final de détensionnement effectué :

- toutes les soudures ferritiques à pleine pénétration de l'enceinte sous pression,
- le revêtement de l'épaulement support des internes,
- le revêtement du couvercle et l'emplacement des broches de centrage de la cuve,
- le beurrage à bas carbone de la bride de cuve.

Les contrôles par ultrasons sont effectués avec deux types de faisceaux d'ondes :

- des faisceaux d'ondes transversales, parallèlement et perpendiculairement au cordon de soudure, des deux côtés de la soudure,
- des faisceaux d'ondes longitudinales (perpendiculaires à la surface), sur toute la surface de la soudure et des deux côtés, de sorte que le contrôle englobe la ZAT.

Les critères appliqués sont ceux du RCC-M pour tous les composants de Niveau 1. Une attention particulière est faite à la recherche de défauts de surface, lesquels doivent être réparés dans tous les cas.

En complément aux contrôles par ultrasons (UT), d'autres méthodes de contrôle volumique (méthodes de contrôle par radiographie ou méthodes complémentaires de contrôle par ultrasons) peuvent être exigées, suivant le RCC-M.

En ce qui concerne la conception de la cuve, toutes les soudures circulaires à pleine pénétration peuvent aussi être contrôlées à 100% par radiographie. En fabrication, ces soudures font l'objet de contrôles par ultrasons et par radiographie. Un accélérateur linéaire est utilisé pour effectuer les contrôles par radiographie en raison des épaisseurs de paroi.

Vis-à-vis des contrôles radiographiques, les critères appliqués sont ceux du RCC-M pour tous les composants de Niveau 1. Les défauts inacceptables sont les suivants :

- fissure,
- manque de pénétration,
- collage,
- morsure,
- soufflure (si sa plus grande dimension est supérieure à une valeur indiquée par le RCC-M).

En cas de non-conformité, le défaut fait l'objet d'une réparation suivant les procédures approuvées.

Des CND dédiés à la détection de DSR/DIDR dans les zones des viroles de coeur revêtues en automatique sont réalisés à la demande de l'exploitant, pour s'assurer de l'absence de DSR et de DIDR, dans la limite des critères acceptables. D'autre part des CND complémentaires (détection des DSR et des DIDR) ont été réalisés au niveau des alésages des tubulures de cuve et également sur le couvercle. Par ailleurs des contrôles spécifiques sont réalisés au niveau des soudures d'adaptateurs sur le couvercle de cuve.

7.5. ÉPREUVE HYDRAULIQUE EN USINE

En fin de fabrication, la cuve est soumise à une épreuve hydraulique en atelier avant sa préparation pour expédition sur site. Les éléments de la cuve ne faisant pas partie de l'équipement Cuve au sens de la réglementation ESPN (voir § 1.) ne sont pas soumis à cette épreuve en usine. Ils sont éprouvés sur site dans le cadre de l'épreuve hydraulique initiale du CPP.

La cuve est placée verticalement dans une station d'épreuve. Des dispositifs d'obturation sont placés sur l'ensemble des pénétrations de la cuve. L'effort de serrage sur les joints de cuve est déterminé selon la pression d'épreuve, calculée à partir du taux d'épreuve réglementaire.

La température minimale d'épreuve est égale à la RT_{NDT} la plus élevée des pièces constitutives de l'enceinte, augmentée de 30°C. Cette RT_{NDT} est déterminée à partir des éprouvettes découpées dans les coupons d'essais.

L'essai est réputé satisfaisant si la pression est supportée sans fuite, ni déformation rémanente visible par examen visuel direct.

L'EH est réalisée avec le couvercle de cuve. L'épreuve du corps de cuve et du couvercle peut aussi être réalisée séparément. Dans ce cas un outillage (faux couvercle) est utilisé pour l'épreuve individuelle du corps de cuve et celle du couvercle.

7.6. MONTAGE SUR SITE

Les plans de montage se trouvent sur les figures [FIG-5.3.1.1](#) à [FIG-5.3.1.4](#).

Montage sur site de la cuve :

La cuve est transportée sur le site indépendamment du couvercle.

Elle est introduite dans le bâtiment réacteur en position horizontale. A l'aide de 2 chariots temporaires montés sur le pont polaire, elle est mise en position verticale et translatée jusqu'au centre du bâtiment réacteur. Les points de levage, préalablement installés en usine, sont constitués de deux oreilles de levage fixées à l'avant et à l'arrière.

La cuve est ensuite déposée sur l'anneau support de cuve grâce au chariot temporaire. □

On procède ensuite au réglage fin de la cuve en fonction des repères topographiques. □

La cuve constitue le point fixe de l'installation des boucles primaires. Le réglage des autres équipements et des tuyauteries primaires s'effectue à partir de la cuve mise en place.

Montage sur site du couvercle de cuve :

Le couvercle est placé sur son stand de stockage dans le bâtiment réacteur. □

On procède à la mise en place de la structure du calorifuge fixe, des brides femelles sur les adaptateurs d'instrumentation et des mécanismes de commande de grappes. Les accessoires de manutention ainsi que l'AMS (Aeroball Measuring System) sont installés.

Le couvercle est ensuite placé sur la cuve dans le puits de cuve. Les crochets des tirants anti sismiques sont rattachés au génie civil (piscine réacteur). Ces tirants réglables sont articulés coté couvercle et relevables pour l'ouverture de la cuve. □

Le couvercle est alors replacé sur son stand pour des travaux de finition. □

TAB-5.3.1.1 PARAMÈTRES DE CONCEPTION DE LA CUVE

Conception générale	
- Type	quatre boucles
- Nombre d'adaptateurs de mécanismes de grappes	89
- Nombre d'adaptateurs de l'instrumentation interne du cœur	16
- Nombre de goujons de bride	□
Conditions de calcul et de fonctionnement	
- Pression de calcul	17,6 MPa abs.
- Pression de service	15,5 MPa abs.
- Température de calcul	351°C
- Température dans la branche chaude du circuit primaire	328,2°C
- Température dans la branche froide du circuit primaire	295,4°C
Régime d'essais	
- Taux d'épreuve hydraulique (valeur réglementaire)	1,43
- Température d'épreuve hydraulique	RTNDT +30°C
Caractéristiques dimensionnelles et Poids	
- Diamètre intérieur de la cuve cylindrique	□
- Diamètre extérieur de la bride	□
- Diamètre sur tubulures (le plus grand diamètre de transport)	□
- Hauteur totale de la partie inférieure (de la bride jusqu'au bas de la calotte)	□
- Hauteur totale, couvercle, adaptateurs de commande de grappes, et tube d'évent compris	□
- Epaisseur de paroi de la virole cylindrique	□
- Epaisseur du revêtement (nominale)	□
- Poids du corps de cuve	□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.1

PAGE 22/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

- Poids du couvercle de cuve non équipé

□

- Poids des goujons, écrous et rondelles

□

TAB-5.3.1.2 MATÉRIAUX DE LA CUVE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.1

PAGE 24/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-5.3.1.1 VUE DE FACE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.1

PAGE 25/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-5.3.1.2 VUE DE DESSUS

□

FIG-5.3.1.3 SECTION PASSANT PAR LE PLAN DES TUBULURES

□

FIG-5.3.1.4 TUBULURE – ZONE DE RACCORDEMENT

□

FIG-5.3.1.5 NOMENCLATURE

□

SOMMAIRE

.5.3.2 CUVE DU RÉACTEUR – INTERNES SUPÉRIEURS	5
0. EXIGENCES DE SÛRETÉ	5
0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ	5
0.1.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	5
0.1.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU CŒUR	5
0.1.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	5
0.2. CRITÈRES FONCTIONNELS	5
0.2.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	5
0.2.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU CŒUR	5
0.2.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	5
0.3. EXIGENCES DE CONCEPTION	6
0.3.1. EXIGENCES ÉMANANT DU CLASSEMENT SÛRETÉ	6
0.3.2. AUTRES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	6
0.3.3. AGRESSIONS INTERNES ET EXTERNES	7
0.4. ESSAIS	7
0.4.1. ESSAIS PRÉ-OPÉRATIONNELS	7
0.4.2. ESSAIS PÉRIODIQUES ET INSPECTION EN SERVICE	7
1. PRINCIPES DE CONCEPTION	7
1.1. GÉNÉRALITÉS	7
1.2. FONCTIONS DES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS DE LA CUVE	8
1.3. EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION	8
2. DESCRIPTION	8
2.1. SUPPORT SUPÉRIEUR	8
2.2. PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR	9
2.3. COLONNES SUPPORT	9
2.4. GUIDES DE GRAPPE (GDG)	9
2.5. COLONNES DESTINÉES À LA MESURE DE NIVEAU CUVE	10
2.6. TUBE GUIDE POUR L'INSTRUMENTATION DU CŒUR	10
3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	10
3.1. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	10

3.2. CHARGEMENTS ET CAS DE CHARGEMENTS	11
4. CONCEPTION MÉCANIQUE	11
4.1. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT	11
4.2. MÉTHODES ET OUTILS	11
4.3. MATÉRIAUX	12
4.4. ESSAIS	12
4.5. IMPLANTATION	12
4.6. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET FACILITÉ DE REPLACEMENT	12
5. CONCEPTION HYDRAULIQUE	12
5.1. CONCEPTION HYDRAULIQUE DES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS	12
5.2. CONCEPTION HYDRAULIQUE DU DÔME SOUS COUVERCLE	13
5.3. ESSAIS	14
6. ÉVALUATION DE SÛRETÉ	14
6.1. CONFORMITÉ À LA RÉGLEMENTATION	14
6.2. RESPECT DES CRITÈRES FONCTIONNELS	14
6.2.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	14
6.2.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU CŒUR	14
6.2.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	15
6.3. CONFORMITÉ AUX EXIGENCES DE CONCEPTION	15
6.3.1. CLASSEMENT DE SÛRETÉ	15
6.3.2. CLASSEMENT MÉCANIQUE	15
6.3.3. CLASSEMENT SISMIQUE	15
6.3.4. AGRESSIONS	15
6.4. ESSAIS	15
6.4.1. ESSAIS PRÉ-OPÉRATIONNELS	15
6.4.2. ESSAIS PÉRIODIQUES ET INSPECTION EN SERVICE	15
7. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT	16
8. INSTRUMENTATION DU CŒUR, MATÉRIEL MÉCANIQUE	16
8.1. INTRODUCTION	16
8.2. DESCRIPTION	17
8.2.1. OBTURATEURS D'ADAPTATEURS	17
8.2.2. LANCES D'INSTRUMENTATION	17

8.2.3. SONDÉS DE MESURE DE NIVEAU CUVE ET DE TEMPÉRATURE DE DÔME	18
8.3. EXIGENCES MÉCANIQUES FONCTIONNELLES	18
8.3.1. EXIGENCES GÉNÉRALES	18
8.3.2. EXIGENCES EN CAS DE SÉISME	18
8.3.3. EXIGENCES POUR LES COMPOSANTS	19
8.4. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT	19
8.4.1. MATÉRIAUX	19
8.4.2. FABRICATION	20
8.5. DONNÉES DE CONCEPTION DE L'INSTRUMENTATION	20
8.6. INTERFACES	20
8.7. INTERVENTION / INSPECTION	21

TABLEAUX :

TAB-5.3.2.1 MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS	22
TAB-5.3.2.2 DONNÉES DE CONCEPTION	23

FIGURES :

FIG-5.3.2.1 ENSEMBLE CUVE	24
FIG-5.3.2.2 ENSEMBLE ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS	25
FIG-5.3.2.3 GUIDE DE GRAPPE ET COLONNE GDG, RELIÉE À LA PLAQUE SUPPORT SUPÉRIEUR ET À LA PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR	26
FIG-5.3.2.4 VUE DE DESSUS DE LA PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR	27
FIG-5.3.2.5 VUE DE DESSUS DES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS	28
FIG-5.3.2.6 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN TUBE D'INSTRUMENTATION	29
FIG-5.3.2.7 PLAQUE DE LOGEMENT ET INTERFACE AVEC LA TIGE DE COMMANDE	30
FIG-5.3.2.8 ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS AVEC L'INSTRUMENTATION	31
FIG-5.3.2.9 AMÉNAGEMENT DES LANCES D'INSTRUMENTATION	32
FIG-5.3.2.10 AMÉNAGEMENT DES SONDÉS DE MESURE DANS LA CUVE	33
FIG-5.3.2.11 AMÉNAGEMENT DES ADAPTATEURS	34
FIG-5.3.2.12 AMÉNAGEMENT GENERAL DES LANCES D'INSTRUMENTATION	35
FIG-5.3.2.13 AMÉNAGEMENT RADIAL DES SONDÉS DE MESURE DE NIVEAU (LMP)	36

.5.3.2 CUVE DU RÉACTEUR – INTERNES SUPÉRIEURS

0. EXIGENCES DE SÛRETÉ

0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ

0.1.1. Maîtrise de la réactivité

Les équipements internes supérieurs de la cuve du réacteur doivent permettre de maintenir la géométrie du cœur et d'assurer l'arrêt du réacteur quelles que soient les conditions de fonctionnement. Ils doivent aussi permettre l'insertion de l'instrumentation du cœur relative aux mesures neutroniques.

0.1.2. Évacuation de la puissance du cœur

Les équipements internes supérieurs de la cuve du réacteur doivent maintenir une géométrie permettant un refroidissement suffisant du cœur quelles que soient les conditions de fonctionnement.

De plus, les équipements internes supérieurs de la cuve doivent permettre l'insertion de l'instrumentation du cœur nécessaire pour la conduite post-accidentelle.

0.1.3. Confinement des substances radioactives

Les équipements internes supérieurs de la cuve du réacteur doivent être conçus de manière à contribuer au confinement des substances radioactives en maintenant l'intégrité des assemblages combustible.

0.2. CRITÈRES FONCTIONNELS

0.2.1. Maîtrise de la réactivité

Les équipements internes supérieurs de la cuve du réacteur doivent permettre :

- de contribuer au maintien horizontal (par l'intermédiaire des pions supérieurs du combustible) et vertical des assemblages dans le cœur,
- d'insérer les grappes absorbantes afin d'assurer l'arrêt du réacteur en toutes circonstances,
- de garantir l'alignement des éléments de combustible ainsi que leur positionnement dans le cœur,
- de mesurer le flux neutronique dans le cœur par le système de sonde aeroball et les détecteurs fixes de neutrons (SPND).

0.2.2. Évacuation de la puissance du cœur

Les internes supérieurs de la cuve contribuent à assurer la bonne circulation du fluide primaire dans la cuve du réacteur. En particulier, les déformations de la géométrie des internes supérieurs doivent rester suffisamment limitées pour garantir la libre circulation du fluide primaire au niveau de la plaque supérieure de cœur et entre les colonnes de guides de grappe, et permettre ainsi pour toutes les conditions de fonctionnement PCC1 à 4 et RRC-A, l'évacuation de la puissance du cœur.

Des dispositions permettant les mesures de température à la sortie du cœur, dans le dôme de la cuve ainsi que la mesure de niveau cuve, utilisées en conduite post-accidentelle, doivent être mises en place.

0.2.3. Confinement des substances radioactives

Le niveau vibratoire des équipements internes du réacteur en fonctionnement normal doit être suffisamment bas pour empêcher toute contrainte inacceptable sur les assemblages de combustible.

En cas d'APRP ou de séisme, les chargements sur les internes ne doivent pas conduire à des conséquences inacceptables pour le cœur (écrasement horizontal ou vertical).

0.3. EXIGENCES DE CONCEPTION

0.3.1. Exigences émanant du classement sûreté

0.3.1.1. Classement sûreté

Les équipements internes de la cuve du réacteur doivent être classés selon les principes de classification présentés dans le paragraphe sur la classification des équipements (voir sous-chapitre 3.2).

0.3.1.2. Critère de défaillance unique (active et passive)

Sans objet

0.3.1.3. Alimentations électriques secourues

Sans objet

0.3.1.4. Qualification dans des conditions de fonctionnement

Sans objet

0.3.1.5. Classifications mécanique, électrique et contrôle-commande

Les équipements internes de la cuve du réacteur sont répartis en deux sous-classes de qualification mécanique :

- les éléments de support du cœur (ES) qui sont nécessaires à l'intégrité mécanique des assemblages de combustible,
- les éléments internes (EI).

Les éléments de support du cœur doivent être conçus selon le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) [1].

0.3.1.6. Classement sismique

Les équipements internes de la cuve doivent être classés sismiques, selon les principes présentés dans le paragraphe sur le classement des équipements (voir sous-chapitre 3.2).

0.3.2. Autres exigences réglementaires

0.3.2.1. Textes officiels

Deux documents s'appliquent aux équipements internes de la cuve :

- l'arrêté ESPN s'applique aux internes de cuve et à l'instrumentation du cœur en tant que composants faisant partie de l'équipement cuve. Néanmoins, les modalités d'application de l'ESPN sont déclinées selon la classification propre de chaque composant des internes de cuve et de l'instrumentation,
- la lettre DSIN 079/2000 "Options de Sûreté du projet de réacteur EPR".

0.3.2.2. Règles fondamentales de sûreté

L'application des RFS est présentée au sous-chapitre 1.7.

0.3.2.3. Directives techniques

Les prescriptions générales des directives techniques s'appliquent aux équipements internes de la cuve (voir sous-chapitre 1.7).

0.3.2.4. Textes spécifiques aux réacteurs EPR

Aucun

0.3.3. Agressions internes et externes

0.3.3.1. Agressions internes

Les équipements internes supérieurs de la cuve doivent être protégés vis-à-vis des conséquences des agressions internes si leur perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.4.

0.3.3.2. Agressions externes

Les équipements internes de la cuve doivent être protégés vis-à-vis des conséquences des agressions externes si leur perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.3.

0.4. ESSAIS

0.4.1. Essais pré-opérationnels

Des essais pré-opérationnels doivent permettre de s'assurer de la conception adéquate et des performances des internes supérieurs de la cuve.

0.4.2. Essais périodiques et inspection en service

Les internes supérieurs de cuve doivent être conçus pour permettre une inspection périodique visuelle de ses principaux composants.

Les équipements internes supérieurs de la cuve doivent être conçus pour permettre la réalisation des essais périodiques conformément aux règles définies au chapitre IX des Règles Générales d'Exploitation.

1. PRINCIPES DE CONCEPTION

1.1. GÉNÉRALITÉS

Les équipements internes supérieurs (voir figure [FIG-5.3.2.1](#)) se composent de :

- la plaque support supérieure avec sa virole et sa bride,
- la plaque supérieure du cœur,
- 89 colonnes pour guide de grappe,
- 89 guides de grappe,
- 12 colonnes normales,
- 4 colonnes pour les sondes de mesure de niveau cuve (Level Measurement Probe : LMP),
- 52 tubes guides ou conduits pour les doigts de gant des lances d'instrumentation,
- 356 broches de centrage pour les guides de grappe,
- 482 pions de centrage supérieurs pour les assemblages de combustible.

1.2. FONCTIONS DES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS DE LA CUVE

Les équipements internes supérieurs se trouvent dans la partie supérieure de l'enveloppe du cœur, celle qui contient les ajutages. Ils remplissent les fonctions suivantes :

- garantir le positionnement et l'alignement des assemblages de combustible,
- supporter les forces exercées par la pré-charge des ressorts des assemblages de combustible,
- distribuer le réfrigérant,
- garantir le positionnement et l'alignement des barres ou grappes de commande,
- guider les sondes de mesure de niveau cuve,
- servir de support à l'instrumentation du cœur,
- supporter les efforts dynamiques produits par les situations de 4ème catégorie,
- permettre le chargement et le déchargement du cœur.

Ils couvrent l'extrémité supérieure du cœur du réacteur et accueillent les grappes absorbantes et les lances destinées à l'instrumentation du cœur et autres instrumentations.

1.3. EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION

La conception structurale et hydraulique des équipements internes supérieurs est basée sur des principes et des équipements déjà mis en œuvre dans des centrales en exploitation. L'instrumentation du cœur, les GDG et les colonnes des GDG sont similaires à celles de Konvoi (adaptés à la grappe 17x17). La structure de support et l'implantation du dôme fermé sont un standard français.


2. DESCRIPTION

La description de la conception mécanique est présentée sur la figure [FIG-5.3.2.2](#).

2.1. SUPPORT SUPÉRIEUR

Voir figure [FIG-5.3.2.8](#).

Le support supérieur (en forme de chapeau renversé) sépare le plénum supérieur du dôme sous le couvercle de cuve. Il constitue l'ossature des équipements internes supérieurs. Il est connecté à la plaque supérieure de cœur par les colonnes des guides de grappe, les colonnes normales et les colonnes LMP.

Le support supérieur comprend la plaque support supérieure  ; une bride et une virole cylindrique, en acier inoxydable austénitique. Le raccordement de la jupe cylindrique à la plaque se fait sous forme d'une soudure à pleine pénétration. La plaque contient 89 trous pour les guides de grappe, 4 trous pour les sondes de mesure de niveau et 52 trous pour le passage des doigts de gants des lances d'instrumentation du cœur.



Au niveau des emplacements de mesure de niveau cuve, la colonne LMP est raccordée à l'aide d'une bride à la face inférieure de la plaque. Le trou, qui est beaucoup plus petit que celui précédemment mentionné, est surplombé par une extension de colonne munie d'un cône de guidage pour faciliter l'insertion des sondes de mesure de niveau. Sur la face inférieure de la plaque, des logements sont également prévus afin d'accueillir les colonnes supports.


Les broches d'alignement fixées à la bride du support supérieur servent au positionnement relatif du couvercle, de la cuve, des internes inférieurs et des internes supérieurs. Elles sont constituées de deux parties fixées respectivement sur la bride de l'enveloppe du cœur et la bride du support supérieur.

La bride du support supérieur contient également 4 douilles à verrouillage rapide (roto-lock) pour la manutention des internes supérieurs et 32 orifices permettant l'insertion des ajutages d'aspersion du dôme.

L'anneau de calage (type rondelle Belleville) se trouve entre la bride des équipements internes supérieurs et la bride de l'enveloppe du cœur.

2.2. PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR

Voir figure [FIG-5.3.2.2](#).

Cette plaque  est en acier inoxydable austénitique. Elle est connectée au support supérieur par les colonnes des guides de grappe, les colonnes normales et les colonnes LMP. Ces colonnes assurent l'espacement entre la plaque supérieure du cœur et le support supérieur. Les autres pièces de la plaque supérieure du cœur sont les pions supérieurs de centrage des assemblages de combustible et les broches de centrage des guides de grappe.

Les pions supérieurs de centrage du combustible (2 par assemblage) et les broches de centrage des guides de grappe (4 par guide de grappe) assurent un positionnement précis des guides de grappe par rapport aux assemblages de combustible correspondants (i.e. rectitude du canal de chute des grappes de contrôle).

Un alignement précis entre la plaque supérieure du cœur et le réflecteur lourd (i.e. la cavité de cœur) est obtenu grâce à quatre broches de centrage fixées sur le réflecteur lourd qui s'engagent dans quatre jeux de glissières fixés sur la plaque supérieure de cœur.

La plaque supérieure du cœur possède 89 trous carrés pour les guides de grappe, 136 orifices circulaires libres et 16 orifices circulaires au dessus desquels se trouve soit une colonne normale, soit une colonne LMP.


2.3. COLONNES SUPPORT

Voir figures [FIG-5.3.2.2](#) et [FIG-5.3.2.3](#).

Il faut faire une distinction entre les trois types de colonnes support :

- colonnes des guides de grappe,
- colonnes normales,
- colonnes LMP.

Les colonnes des guides de grappe sont implantées au-dessus des emplacements des assemblages de combustible qui sont équipés d'une grappe absorbante (89 emplacements). Les guides de grappe se trouvent à l'intérieur de ces colonnes.

Chaque colonne de guide de grappe  est reliée à sa bride inférieure par 8 goussets. Ces goussets traversent la section ouverte entre le tube de la colonne de guide de grappe et la bride de raccordement à la plaque supérieure du cœur. Ce système de goussets permet le passage du débit primaire.

La portion périphérique de la plaque supérieure du cœur est connectée au support supérieur par les colonnes normales et les colonnes LMP.

2.4. GUIDES DE GRAPPE (GDG)

Voir figure [FIG-5.3.2.3](#).

Les GDG assurent le bon alignement, la manœuvrabilité et la chute des barres de commande dans le cœur.

Les GDG sont essentiellement constitués de 8 tirants et de 15 cartes de guidage dont l'une joue également le rôle de bride de fixation à la plaque support. Dans la partie inférieure du GDG, les cartes de guidage sont, en plus, connectées par 16 tubes fendus (tubes en C), dans lesquels chaque crayon des grappes de contrôle peut coulisser librement (guidage continu).

Les grappes de contrôle sont protégées de l'écoulement par les colonnes des GDG.

Les GDG sont vissés sur le dessus de la plaque support supérieure. La bonne position par rapport à l'assemblage de combustible est obtenue par le centrage de la carte inférieure du GDG sur les quatre broches de centrage fixées sur la plaque supérieure du cœur.


La partie supérieure du GDG est fermée par le capot supérieur. La plaque de logement au sommet du capot supérieur est munie d'un trou pour obtenir, grâce à un jeu prédéterminé avec la tige de commande (voir figure [FIG-5.3.2.7](#)), un certain débit. Il en résulte une pression dans le dôme différente de celle existante dans le centre du plénum supérieur. Ces différences de pression entre le plénum supérieur et le dôme conduisent à des écoulements dans les colonnes de GDG qui sont soit ascendants, soit descendants selon les positions des colonnes dans le plénum supérieur. Dans ces conditions, le réfrigérant "chaud" s'écoule du plénum supérieur à travers certaines colonnes des GDG dans le dôme où se produit le mélange avec le débit de by-pass "froid" provenant de l'espace annulaire entre cuve et enveloppe de cœur via les ajutages d'aspersion. Le fluide est alors réacheminé du dôme vers le plénum supérieur à travers d'autres colonnes des GDG.

Lorsque la tige de commande est déconnectée, la plaque de logement située au sommet du capot supérieur maintient la tige en position verticale. Ceci facilite l'insertion de la tige de commande dans l'adaptateur lorsque le couvercle de cuve est descendu sur la cuve.

2.5. COLONNES DESTINÉES À LA MESURE DE NIVEAU CUVE


Voir figures [FIG-5.3.2.2](#) et [FIG-5.3.2.8](#).

Les quatre colonnes pour les sondes de mesure de niveau cuve (LMP) sont constituées principalement de deux pièces en acier inoxydable austénitique : la colonne proprement dite et une pièce d'entrée. Cette pièce, constituée d'un guide conique, d'un tube et d'une bride, est installée sur la face supérieure du support supérieur. Elle est positionnée dans un lamage de la plaque et maintenue en place à l'aide de vis.

La colonne proprement dite est un tube . Son extrémité supérieure est fixée par une bride sous le support supérieur. Sa partie inférieure est fixée sur la plaque supérieure du cœur. Un dispositif spécial fixé à l'extrémité inférieure du tube de mesure de niveau permet une alimentation en eau calme du système de mesure.

2.6. TUBE GUIDE POUR L'INSTRUMENTATION DU CŒUR

Voir figures [FIG-5.3.2.2](#) et [FIG-5.3.2.8](#).

Les 52 tubes guides pour l'instrumentation du cœur sont des tubes  en acier inoxydable austénitique. Ils sont fixés par l'intermédiaire de supports sur les colonnes de GDG (6 supports par tube). Ces supports sont soudés sur les tubes et vissés sur les colonnes de GDG.

L'extrémité supérieure des tubes guides est insérée dans un trou de la plaque support supérieure. Un espace est laissé libre pour la dilatation thermique. L'extrémité inférieure est fixée, à l'aide d'un support de fixation boulonné, à l'intérieur de l'orifice d'écoulement de la plaque supérieure du cœur situé au-dessus de l'assemblage instrumenté.

3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

3.1. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Les exigences de conception sont celles du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

La durée de vie des équipements internes de la cuve est de 60 ans.

Sur la base des conditions de chargement définies et selon les règles du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6), la conception mécanique garantit l'intégrité des équipements internes de la cuve pour toutes les conditions de fonctionnement PCC-1 à 4 et RRC-A.

3.2. CHARGEMENTS ET CAS DE CHARGEMENTS

Les équipements internes de la cuve sont conçus structurellement pour les chargements permanents et les transitoires du fonctionnement normal et accidentel résultant d'évolutions de température, des accidents externes et de ruptures de lignes engendrant une perte du réfrigérant primaire. Ceci garantit la capacité de refroidissement et d'arrêt du réacteur en toutes circonstances.

L'analyse des contraintes prend en compte les chargements suivants pour les conditions de fonctionnement normal et les conditions accidentelles :

- chargements mécaniques dus au poids, à l'écoulement permanent, aux vibrations, au freinage des grappes et aux précharges,
- chargement thermique dû à la dilatation thermique différentielle des pièces individuelles et à l'échauffement gamma,
- les vibrations et les forces d'impact provoquées par les ruptures de ligne engendrant une perte du réfrigérant primaire et les événements externes (type séisme de dimensionnement), en tenant compte des conditions locales pour ce qui concerne l'amplitude et la fréquence.

La résistance des équipements internes aux forces cycliques (courbes de fatigue et limite d'endurance des pièces) est vérifiée par le calcul et les mesures de vibrations.

4. CONCEPTION MÉCANIQUE

4.1. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT

La démonstration de la tenue mécanique des internes supérieurs aux chargements repose sur la considération des forces appliquées aux colonnes support pour différents cas de chargement ainsi que sur les résultats des analyses de contraintes expérimentales ou analytiques. Une analyse tridimensionnelle des interactions fluide-structure dans le cas d'une rupture du circuit primaire a été effectuée [1]. Les colonnes support peuvent résister à une rupture guillotine complète de la ligne d'expansion en considérant un temps d'ouverture conventionnellement pris égal à 1 ms.

Les dimensions des équipements internes supérieurs sont vérifiées à l'aide d'une analyse des structures principales et d'une comparaison des résultats avec les normes applicables (RCC-M, voir sous-chapitre 1.6). Il est démontré que la structure des équipements internes supérieurs satisfait aux exigences fonctionnelles.

Le modèle de calcul contient les éléments suivants des équipements internes supérieurs de conception EPR :

- plaque support supérieur,
- plaque supérieure du cœur,
- colonnes support.

4.2. MÉTHODES ET OUTILS

Pour la détermination des chargements dynamiques sur la structure, un modèle dynamique de la cuve et des internes est réalisé [1]. Un modèle tridimensionnel statique est ensuite réalisé [2] pour la détermination des contraintes dans les plaques et les colonnes. Un modèle dynamique de colonne support est également réalisé [3] afin de valider le comportement des colonnes sous chargement dynamique.




4.3. MATÉRIAUX


Les caractéristiques suivantes, concernant la qualité des matériaux définis pour la fabrication des équipements internes supérieurs, ont été prises en compte :

- qualification (par exemple : expérience du fabricant des matériaux, ses références),
- type du processus de fabrication mis en jeu (par exemple : soudage, formage à chaud ou à froid),
- composition chimique (par exemple : teneur en carbone, éléments de l'alliage, éléments associés et traces d'éléments),
- propriétés mécaniques au cours de la durée de vie de fonctionnement (par exemple : résistance à la température ambiante et aux températures plus élevées, fatigue),
- résistance aux mécanismes de corrosion,
- réduction du niveau d'irradiation dans la centrale nucléaire (par exemple teneur en Co).

Les matériaux utilisés pour les équipements internes supérieurs sont donnés dans le tableau [TAB-5.3.2.1](#).

Les matériaux utilisés pour les équipements internes supérieurs sont spécifiés dans le RCCM (voir sous-chapitre 1.6) .

4.4. ESSAIS

Le sous-chapitre 1.5 décrit les essais  réalisés sur maquette à des fins de qualification de la conception des guides de grappe. Ces essais avaient pour objectifs la caractérisation modale des guides de grappe, leur qualification en terme de conditions de plaquage et de vibrations pour la grappe de commande, de résistance à l'usure (translation et vibration), de résistance à la fatigue vibratoire induite par écoulement. Des essais de perte de fonction ont par ailleurs été menés.

Les résultats de ces essais permettent de valider la conception du guide de grappe du réacteur EPR et son fonctionnement sans dommage sur une durée de 60 ans.

4.5. IMPLANTATION

L'implantation des équipements internes supérieurs de la cuve est présentée sur les figures suivantes : [FIG-5.3.2.2](#), [FIG-5.3.2.4](#) et [FIG-5.3.2.8](#).

4.6. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET FACILITÉ DE REMPLACEMENT

Une inspection visuelle en service des sous-ensembles est possible. Les équipements internes supérieurs sont remplaçables dans leur ensemble ou par élément. C'est le cas pour les GDG et les pions de centrage supérieurs des assemblages de combustible dont la conception autorise le remplacement.

5. CONCEPTION HYDRAULIQUE

5.1. CONCEPTION HYDRAULIQUE DES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS

Après passage d'une partie du fluide primaire provenant de la branche froide par les ajutages d'aspersion de l'enveloppe de cœur, la résistance hydraulique et les sections de passage pour le cheminement du réfrigérant entre la région du dôme et le plénum supérieur sont les éléments importants qui permettent d'obtenir les conditions d'un dôme fermé tiède.

Il existe différents cheminements du dôme jusqu'au plénum supérieur :

- écoulement à travers la plaque de logement et les GDG,
- écoulement à travers les tubes guides protégeant les doigts de gant des lances d'instrumentation destinées aux billes à propulsion pneumatique (aeroball), aux détecteurs de neutron (SPND) et aux thermocouples,
- écoulement à travers les trous de passage pour les mesures de niveau (LMP).

De plus, le cheminement qui va du cœur au plénum supérieur doit être pris en compte :

- aux emplacements des assemblages combustibles équipés d'une grappe de contrôle,
- aux emplacements des assemblages combustibles équipés de grappes bouchons,
- dans l'espace annulaire entre l'enveloppe du cœur et la plaque supérieure du cœur.

S'agissant des écoulements dans les GDG, les résistances hydrauliques sont dues aux cartes de guidage qui conduisent à de grands écarts de pression dans les sections de passage. Les pertes de charges dans les tubes en C du guidage continu en partie basse des GDG sont linéaires et leur effet est négligeable en comparaison des différences de pression occasionnées par les cartes.

Les tubes guides d'instrumentation destinés au système aeroball, SPND et aux thermocouples sont implantés dans cette région. Les géométries du cheminement dans les différents types de tubes guides sont identiques. Un schéma des tubes guides d'instrumentation est fourni sur la figure [FIG-5.3.2.6](#).

Les résistances dans les GDG, dans les conduits des lances d'instrumentation et au passage de la plaque supérieure du cœur ont été évaluées et prises en compte dans des études de by-pass.

5.2. CONCEPTION HYDRAULIQUE DU DÔME SOUS COUVERCLE

La plaque support supérieure, qui sépare le dôme sous couvercle et le volume du plénum supérieur, ne constitue pas une barrière étanche entre l'eau chaude qui sort du cœur et l'eau mélangée provenant du dôme supérieur. Ceci est dû au fait que les grappes de contrôle doivent pouvoir monter et descendre et donc qu'un passage avec un jeu suffisant doit exister pour la tige de commande au niveau de la plaque de logement (sommets du capot du GDG).

Pour contrôler le by-pass du cœur qui alimente le dôme supérieur, les 32 orifices sont munis de diaphragmes. Ces orifices de by-pass sont répartis uniformément tout le long d'une circonférence dont le diamètre moyen est compris entre le diamètre extérieur de l'anneau de calage et la zone de contact des équipements internes supérieurs avec le couvercle de cuve.

Le by-pass de 0,5% induit une pression dans le dôme différente de celle existant dans le plénum supérieur. Ces différences de pression entre le plénum supérieur et le dôme conduisent à des écoulements dans les colonnes de GDG qui sont soit ascendants, soit descendants selon les positions des colonnes dans le plénum supérieur. Dans ces conditions, le réfrigérant « chaud » s'écoule du plénum supérieur à travers certaines colonnes des GDG dans le dôme où se produit le mélange avec le débit de by-pass « froid » provenant de l'espace annulaire entre cuve et enveloppe de cœur via les ajutages d'aspersion. Le fluide est alors réacheminé du dôme vers le plénum supérieur à travers d'autres colonnes des GDG.

La conception thermo-hydraulique du dôme exige une certaine valeur minimale pour le coefficient de circulation descendante K/A^2 dans les GDG si on veut garantir la faisabilité du dôme tiède. Le terme K/A^2 correspond à la valeur du coefficient de chute de pression dans le guide de grappe divisé par la section du guide de grappe. Cette valeur est la résistance hydraulique du guide de grappe utilisée dans le calcul des températures dans le dôme.

En tenant compte de cette imposition \square , le débit de by-pass du dôme dans le cas du dôme tiède est de 0,5 % en considérant les orifices de by-pass avec leur diaphragme.

Ces débits de by-pass sont exprimés en pourcentage du débit d'entrée total dans la cuve.

5.3. ESSAIS

Les essais de caractérisation hydraulique globale des internes supérieurs [§ 1](#) ainsi que leurs principales conclusions, sont traités dans le sous-chapitre 1.5.

Ces résultats montrent que les exigences fonctionnelles en fonctionnement normal sur les débits en sortie cœur sont respectées.

6. ÉVALUATION DE SÛRETÉ

6.1. CONFORMITÉ À LA RÉGLEMENTATION

La conception des équipements internes supérieurs de la cuve du réacteur est conforme à la réglementation générale en vigueur (voir sous-chapitre 1.7), notamment en ce qui concerne la réglementation sur les contraintes admissibles et le choix des matériaux, et ne fait pas l'objet de dérogations particulières.

6.2. RESPECT DES CRITÈRES FONCTIONNELS

6.2.1. Maîtrise de la réactivité

Les internes supérieurs sont conçus de manière à ce que les critères sur la géométrie du cœur définis au sous-chapitre 4.3 soient respectés.

Les dispositions ci-dessous contribuent au maintien de la géométrie du cœur et garantissent l'insertion des grappes en conditions de fonctionnement normales, exceptionnelles ou accidentelles :

- les pions fixés sur la plaque supérieure de cœur assurent le maintien latéral des assemblages de combustible,
- la plaque support supérieure assure le positionnement des guides de grappe. L'alignement précis des guides de grappe par rapport aux assemblages combustibles est assuré par leurs broches de centrage, ce qui garantit la rectitude du canal de chute des grappes de contrôle,
- les guides de grappe assurent le bon alignement et les caractéristiques de chute des lignes de commande dans le cœur. Les colonnes de guides de grappe protègent les grappes de l'écoulement du fluide primaire dans le plénum supérieur.

La bonne tenue des internes supérieurs de cuve aux cas de chargements décrits au [§ 3](#), est démontrée par les résultats des études mécaniques présentées au [§ 4](#).

Par ailleurs, des tubes guides, fixés par l'intermédiaire de supports sur les colonnes de guides de grappe, permettent des mesures par un système de sondes aeroball ainsi que la mise en place de détecteurs fixes de neutrons.

6.2.2. Évacuation de la puissance du cœur

La conception hydraulique des internes supérieurs de la cuve du réacteur garantit l'évacuation de la chaleur produite dans le cœur dans les conditions normales de fonctionnement, ainsi qu'en cas d'incident et d'accident. En particulier :

- le comportement hydraulique des internes supérieurs de la cuve sous écoulement normal a été validé par des essais sur maquette (voir [§ 5](#)),
- pour les cas d'accident par perte de réfrigérant les plus pénalisants, le dimensionnement des internes :
 - à une onde de décompression se propageant à l'intérieur de la cuve,
 - aux efforts hydrodynamiques résultant des variations locales des caractéristiques du fluide,

permet de maintenir la géométrie du cœur et d'assurer ainsi le refroidissement de celui-ci (voir § 4.).

6.2.3. Confinement des substances radioactives

Les internes sont conçus de sorte que leur niveau vibratoire en fonctionnement normal soit suffisamment bas pour empêcher toute contrainte inacceptable sur les assemblages de combustible.

Il est vérifié pour les chargements induits par un APRP, par le séisme de dimensionnement ou par le cumul des deux ne conduit pas à des dommages inacceptables pour le cœur (écrasement vertical ou horizontal).

6.3. CONFORMITÉ AUX EXIGENCES DE CONCEPTION

6.3.1. Classement de sûreté

Ces équipements n'ont pas de classement de sûreté.

6.3.2. Classement mécanique

Ces équipements répondent aux exigences suivantes :

- Leur conception dérive de la méthodologie du RCC-M [] car en tant qu'éléments de support du cœur, ils participent à la sûreté en fonctionnement.
- Ils sont dimensionnés pour le transitoire enveloppe de fonctionnement cumulé au séisme de dimensionnement.
- Ils sont réalisés et contrôlés selon les exigences du RCC-M.
- Ils font l'objet d'un programme d'Assurance Qualité au stade de leur conception, à la fabrication et au montage.

6.3.3. Classement sismique

Le dimensionnement mécanique des internes supérieurs de la cuve tient compte des chargements induits par le séisme de dimensionnement.

6.3.4. Agressions

6.3.4.1. Agressions internes

La démonstration de la robustesse de l'installation aux agressions internes relève du sous-chapitre 3.4.

6.3.4.2. Agressions externes

La démonstration de la robustesse de l'installation aux agressions externes relève du sous-chapitre 3.3.

6.4. ESSAIS

6.4.1. Essais pré-opérationnels

Des essais préliminaires de vibrations des internes supérieurs sous écoulement sont prévus avant le premier chargement du cœur. Les essais sont réalisés avec des conditions de pression et de températures caractéristiques d'états stables allant de l'arrêt à froid au fonctionnement nominal (voir section 3.6.4).

6.4.2. Essais périodiques et inspection en service

Les internes supérieurs de cuve sont conçus pour permettre une inspection périodique visuelle.

7. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT

La fabrication et le contrôle des composants des internes supérieurs FA3 répondent aux exigences du RCC-M [1], ainsi qu'à certaines exigences supplémentaires prévues dans les spécifications d'équipement [2].

[1]

Les approvisionnements font l'objet de recette à la coulée et sur échantillon, de contrôle de la composition chimique et des caractéristiques mécaniques.

Les équipements internes supérieurs sont essentiellement constitués à partir de tôles et de pièces forgées, dont les principales pour les internes supérieurs du réacteur EPR sont la plaque support supérieure et la plaque supérieure de cœur.

Ces pièces sont ensuite usinées pour atteindre les dimensions et les formes retenues lors de la conception de l'équipement. Pour les séquences d'usinage, il est à noter que :

- Un usinage d'ébauche est d'abord réalisé chez le forgeron.
- Un usinage final est ensuite réalisé chez l'usineur/monteur, sur la base des dimensions spécifiées par les plans d'équipement et des mesures de la cuve telle que construite.

[2]

Toutes les pièces sont identifiées par marquage selon les prescriptions du RCC-M. Toute déviation par rapport aux prescriptions des spécifications fait l'objet d'une fiche de non-conformité et conduit à un examen des conséquences possibles avant acceptation, réparation ou rebut.

Un Rapport de Fin de Fabrication (RFF) réunit, sous forme de rapports et procès verbaux, les résultats d'essais et de contrôle :

- d'analyse de composition chimique,
- d'essais mécaniques,
- d'examen d'aspect,
- des contrôles par ressuage et ultrasons,
- des tests de corrosion intercrystalline,
- des enregistrements des traitements thermiques,
- des contrôles radiographiques.

Un guide d'exploitation et d'entretien est remis à l'exploitant.

8. INSTRUMENTATION DU CŒUR, MATÉRIEL MÉCANIQUE

8.1. INTRODUCTION

La mesure du flux neutronique dans le cœur est réalisée en continu par des détecteurs à neutrons fixes (SPND), et de façon discontinue au moyen du système de mesure aeroball (AMS). Des thermocouples sont installés pour la mesure de température à la sortie du cœur, ainsi que de la température sous couvercle.

La température dans le dôme est également mesurée par l'intermédiaire de 5 thermocouples [1].

La mesure de niveau cuve du réacteur est réalisée par des thermocouples chauffés et non-chauffés utilisés comme capteurs de niveau.

Toute l'instrumentation du cœur est insérée dans la cuve via le couvercle.

On accorde une attention particulière aux facilités et sécurité de manutention de l'instrumentation du cœur :

- temps de manutention durant les arrêts pour rechargement et temps de remplacement courts, les lances et les sondes de mesure de niveau étant installées sans fixations spéciales,
- les systèmes de serrage équipés de bagues d'étanchéité spéciales permettent un essai d'étanchéité sur chaque bague avant le démarrage de la centrale,
- les doigts de gant des lances d'instrumentation contenant des détecteurs à neutrons épuisés peuvent être individuellement remplacés.

8.2. DESCRIPTION

À l'intérieur de la cuve du réacteur, le Système de Mesure Aeroball (AMS), le système de détecteurs de neutrons (SPND) et le système de mesure de température de sortie de cœur (COT) sont montés dans les Lances d'Instrumentation (IL). Le système de mesure par thermocouples de niveau cuve et de température sous couvercle est monté dans les Sondes de Mesure de Niveau (RPVLD).




La section transversale des internes supérieurs avec instrumentation est présentée sur les figures [FIG-5.3.2.9](#) et [FIG-5.3.2.12](#).

La position des adaptateurs d'instrumentation sur le couvercle de cuve est présentée sur la figure [FIG-5.3.2.11](#).

8.2.1. Obturateurs d'adaptateurs

Les obturateurs d'adaptateur d'instrumentation sont montés sur les adaptateurs d'instrumentation du couvercle de cuve.



 La plaque de pression sert à mettre en tension la fermeture d'adaptateur. Elle est vissée intérieurement sur la tête de la lance ou de la sonde (ou de la tige courte) et lorsque les vis d'assemblage à tête hexagonale sont serrées, la tige est tirée vers le haut, permettant ainsi aux ressorts à disques d'exercer une précharge sur les bagues d'étanchéité. Les bagues d'étanchéité sont alors maintenues entre l'obturateur d'adaptateur et la tête de la lance/sonde/courte.

Les obturateurs d'adaptateur doivent être ouverts et fermés à chaque arrêt.

8.2.2. Lances d'instrumentation

Les doigts de gant des lances d'instrumentation servent à maintenir et guider le système de mesure aeroball, les détecteurs de neutrons et les sondes de mesure de température en sortie de cœur à l'intérieur de la cuve. Ils servent en outre à protéger les systèmes lors de leur installation et leur démontage.

Les doigts de gant des lances sont situés dans les tubes-guides des assemblages combustibles qui ne sont pas déjà occupés par un crayon de grappe de commande.



L'étanchéité entre la tête de la lance et le l'obturateur d'adaptateur d'instrumentation est réalisée par un système de bague d'étanchéité facilement démontable, permettant un essai d'étanchéité après l'assemblage de chaque fermeture d'adaptateur.

Le doigt de gant d'instrumentation cœur remplaçable est le doigt comprenant les détecteurs à neutrons et les thermocouples.

Les câbles des détecteurs SPND et des thermocouples dans les tubes de doigts de gant sont guidés jusqu'au sommet des doigts, regroupés au niveau de la poutre et conduits jusqu'à l'extérieur de la cuve à travers la tête de lance. Les tubes de doigts de gant sont brasés de façon à être étanches (à la pression) tandis que les câbles des détecteurs SPND et des thermocouples sont équipés d'une pièce d'entrée étanche et démontable, ce qui permet de remplacer le doigt de gant dans son intégralité.

Les configurations des lances d'Instrumentation sont présentées sur la figure [FIG-5.3.2.12](#).

8.2.3. Sondes de mesure de niveau cuve et de température de dôme



La tête de la sonde de mesure de niveau et l'obturateur d'adaptateur d'instrumentation forment ensemble un passage étanche à la pression pour les câbles des capteurs au travers du couvercle de cuve. Le raccordement étanche entre la tête de sonde et l'obturateur d'adaptateur d'instrumentation est réalisé par un système de bague d'étanchéité facilement démontable, permettant un essai d'étanchéité après la fermeture de chacun des adaptateurs.

Un doigt de gant rattaché à la tête de la sonde sert à guider, maintenir et protéger les capteurs. Le doigt de gant est perforé pour permettre la détection du niveau de réfrigérant.

La sonde de mesure de niveau est entourée d'un tube guide au niveau de la plaque support des guides de grappe. Ce tube guide assure le centrage de la sonde au niveau de la plaque (voir figure [FIG-5.3.2.10](#)).

Les emplacements des sondes de mesure de niveau et de température de dôme sont indiqués sur la figure [FIG-5.3.2.13](#).

8.3. EXIGENCES MÉCANIQUES FONCTIONNELLES

8.3.1. Exigences générales

La conception mécanique de l'instrumentation du cœur satisfait aux exigences imposées par :

- le bon fonctionnement,
- les conditions de mise en charge,
- la bonne sélection et utilisation des matériaux,
- une bonne pratique de fabrication,
- la facilité d'entretien.

Ceci en tenant compte de l'interaction entre ces exigences.

Les parties mécaniques sont conçues selon un objectif de durée de vie de 60 ans.

L'instrumentation du cœur est structurellement dimensionnée pour résister aux chargements permanents et transitoires, en fonctionnement normal perturbé, ainsi qu'en cas de chargements accidentels tels qu'accident de perte de réfrigérant primaire, séisme de dimensionnement, ainsi que leur cumul.

8.3.2. Exigences en cas de séisme

Les parties de l'enceinte sous pression sont conçues selon les exigences liées à la classe sismique 1 (SC1).

8.3.3. Exigences pour les composants

8.3.3.1. Tubes-guides des assemblages de combustibles

A l'intérieur des assemblages de combustible, les doigts de gant de l'instrumentation du cœur sont insérés dans les tubes-guides prévus pour les barres de contrôle. Les tubes-guides utilisés à cet effet ont été sélectionnés en fonction des exigences suivantes :

- diamètre intérieur minimum \square pour accueillir les doigts de gant de la lance d'instrumentation
- les doigts de gant des systèmes aeroball et les SPND doivent être répartis aussi uniformément que possible dans le cœur, en se servant de la souplesse supplémentaire qui offre la possibilité pour chaque assemblage de combustible d'accueillir jusqu'à 2 doigts de gant (dans ce cas, un doigt aeroball et un doigt SPND),
- intervalles réduits pour les supports des tubes guidant les doigts de gant dans les internes supérieurs.

8.3.3.2. Détecteurs fixes de neutrons (SPND) pour la mesure de flux neutronique

\square

Les doigts de gant contenant des détecteurs de neutrons sont insérés dans les tubes-guides des assemblages de combustible.

8.3.3.3. Thermocouples pour la mesure de température de sortie cœur (COT)

Le nombre de points de mesure résulte du nombre de doigts de gant équipés de SPND.

3 thermocouples sont installés dans chaque doigt (nombre total : 36).

En ce qui concerne leur position verticale, les thermocouples sont situés au niveau de l'embout supérieur de l'assemblage combustible.

8.3.3.4. Thermocouples pour la mesure de niveau cuve

\square

8.3.3.5. Thermocouples pour la mesure de la température du dôme

\square

8.4. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT

Les fermetures d'adaptateurs, sondes de mesure de niveau cuve et de température du dôme, ainsi que les lances d'instrumentation, sont conçues, fabriquées et inspectées selon les exigences du RCC-M applicables. Lorsque le RCC-M ne permet pas de fournir des garanties suffisantes, des exigences supplémentaires sont ajoutées aux spécifications d'équipement.

8.4.1. Matériaux

8.4.1.1. Choix des matériaux

Les matériaux des composants de l'instrumentation du cœur sont approvisionnés selon les exigences détaillées dans le dossier matériaux.

Le choix des matériaux pour les pièces principales des composants de l'instrumentation du cœur est décrit dans le tableau [TAB-5.3.2.2](#) ci-dessous.

Les caractéristiques des matériaux prévus pour la fabrication des fermetures d'adaptateurs, des sondes de mesure de niveau cuve et de température dôme, et des lances d'instrumentation, sont les suivantes :

- qualification (i.e. expérience du fabricant matériaux, ses références),
- pertinence par rapport au procédé de fabrication impliqué (i.e. soudage, formage à froid ou à chaud),
- composition chimique (taux de carbone, éléments d'addition, d'accompagnement, ou impuretés),
- propriétés mécaniques (i.e. dureté et résistance à température ambiante et aux températures supérieures, propriétés en fatigue),
- résistance aux mécanismes de corrosion pertinents par rapport à l'utilisation prévue pour la pièce,
- réduction du niveau d'irradiation dans le CPP (taux de cobalt).

8.4.1.2. Contrôle des matériaux

Le contrôle des matériaux comprend la vérification du marquage d'identification du matériau ainsi que des certificats matière ; les numéros des certificats matière sont reportés dans les documents de suivi de fabrication.

8.4.1.3. Marquage et identification

Les produits sous quelque forme que ce soit, les coupons témoins, éprouvettes et surplus de matériau sont marqués selon les procédures décrites dans les spécifications d'équipement et les dossiers matériaux.

8.4.2. Fabrication

La fabrication et l'assemblage des fermetures d'adaptateurs, sondes de mesure de niveau cuve et de température du dôme ainsi que des lances d'instrumentation de l'instrumentation du cœur suivent généralement les prescriptions [□](#) du RCC-M. Cependant, leur application au cas particulier de l'instrumentation du cœur nécessite les adaptations présentées dans les spécifications d'équipement.

Les revêtements durs et joints permanents (soudures et brasages) sont contrôlés par les examens non destructifs appropriés définis dans les feuilles d'examen d'inspection des spécifications d'équipement.

Pour les parties de l'enceinte sous pression, un test de résistance à la pression est réalisé conformément au [□](#)RCC-M.

L'identification des composants est réalisée conformément aux procédures décrites dans les spécifications d'équipement. Toute déviation par rapport aux prescriptions des spécifications fait l'objet d'une fiche de non-conformité et conduit à un examen des conséquences possibles avant acceptation, réparation ou rebut.

8.5. DONNÉES DE CONCEPTION DE L'INSTRUMENTATION

Les données de conception sont fournies en tableau [TAB-5.3.2.2](#).

8.6. INTERFACES

Les éléments suivants sont concernés :

- couvercle de cuve,
- équipements internes supérieurs de la cuve,
- assemblages de combustible,
- connexes de cuve,

- matériel électrique et appareils de contrôle commande,
- système d'alimentation en azote pour le système de mesure aeroball,
- grappe bouchon de l'assemblage de combustible.

8.7. INTERVENTION / INSPECTION

L'inspection en service est possible durant les arrêts de tranche. Le contrôle peut également être effectué durant le fonctionnement du réacteur.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.2

PAGE 22/36

CENTRALES NUCLÉAIRES

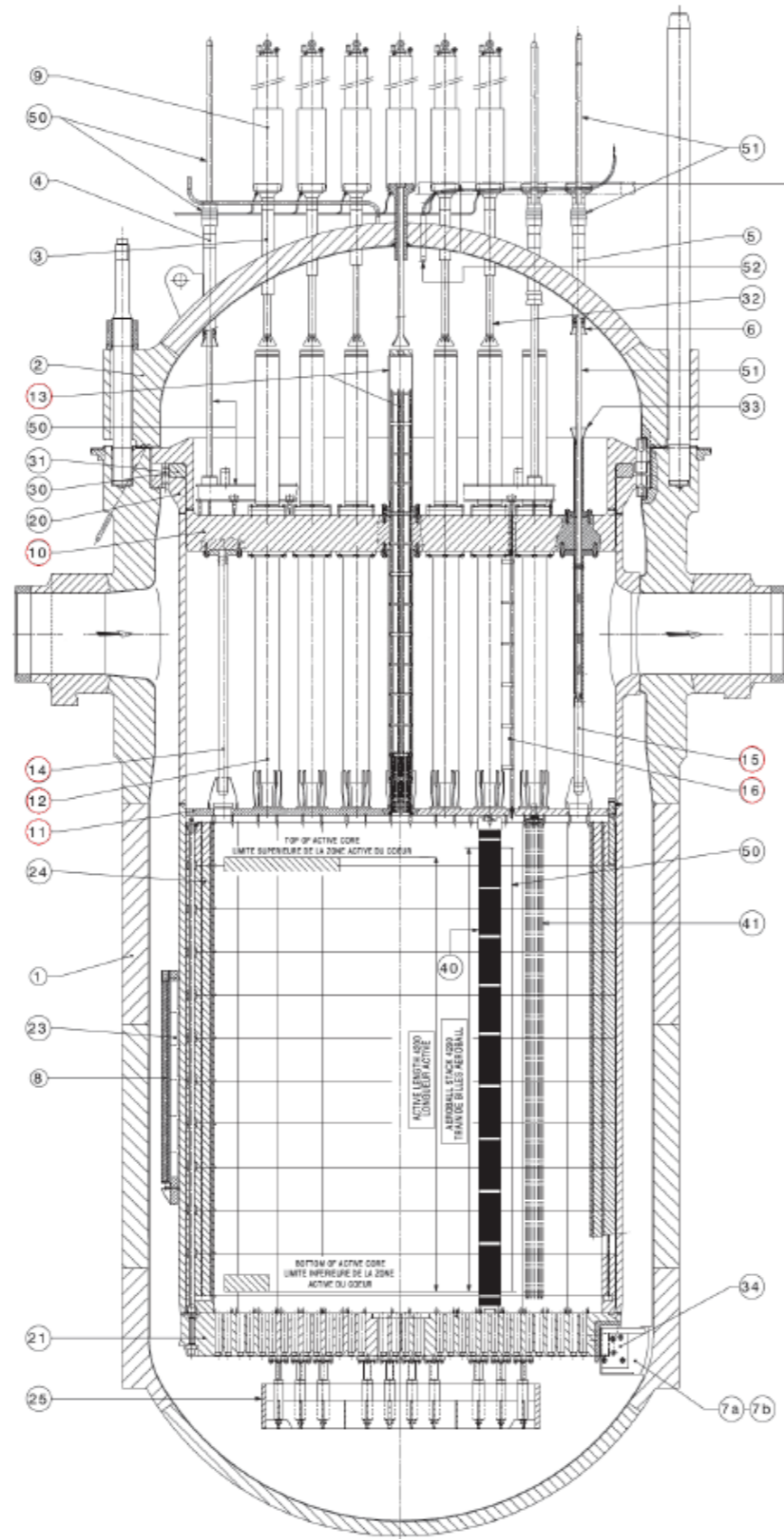
Palier EPR

TAB-5.3.2.1 MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS

□

TAB-5.3.2.2 DONNÉES DE CONCEPTION

□

FIG-5.3.2.1 ENSEMBLE CUVE


LISTE DES PIÈCES		
Article	Qté	TITRE
CUVE DU RÉACTEUR		
1	1	CORPS DE CUVE
2	1	COUVERCLE DE CUVE
3	89	ADAPTATEUR POUR MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES
4	12	ADAPTATEUR DE LA LANCE D'INSTRUMENTATION
5	4	ADAPTATEUR DE LA SONDÉ DE MESURE DE NIVEAU (LMP)
6	1	ADAPTATEUR DU THERMOCOUPLE DU DÔME EN POSITION CENTRALE
7a	4	CLAVETTE RADIALE AVEC CENTRAGE TANGENTIEL
7b	4	CLAVETTE RADIALE SANS CENTRAGE TANGENTIEL
8	4	CAPSULE POUR SPÉCIMENS D'IRRADIATION
9	89	MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES
ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS		
10	1	SUPPORT SUPÉRIEUR (bride des équipements internes supérieurs / jupe / plaque support supérieur)
11	1	PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR
12	89	COLONNE DU GUIDE DE GRAPPE
13	89	GUIDE DE GRAPPE
14	12	COLONNE NORMALE
15	4	COLONNE DE LA SONDÉ DE MESURE DE NIVEAU (LMP)
16	52	TUBE GUIDE DU DOIGT DE LA LANCE D'INSTRUMENTATION
ÉQUIPEMENTS INTERNES INFÉRIEURS		
20	1	ENVELOPPE DU CŒUR (bride et viroles)
21	1	FOND SUPPORT DU CŒUR
23	2	PANIER POUR CAPSULES DE SPÉCIMENS D'IRRADIATION
24	1	RÉFLECTEUR LOURD
25	1	SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE DÉBIT
ÉQUIPEMENTS INTERNES DE CUVE - DIVERS		
30	1	ANNEAU DE CALAGE
31	4	BOUCHON D'ACCÈS AUX CAPSULES D'IRRADIATION
32	89	MANCHETTE THERMIQUE DE L'ADAPTATEUR POUR MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES
33	16	ENTONNOIR POUR LA TIGE D'INSTRUMENTATION
34	8	GLISSIÈRE DE CLAVETTE RADIALE
COMPOSANTS DU CŒUR		
40	241	ASSEMBLAGE DE COMBUSTIBLE (FA)
41	89	GRAPPES ABSORBANTES (RCCA)
INSTRUMENTATION DU CŒUR INSTALLÉE PAR LE DESSUS		
50	12	LANCE D'INSTRUMENTATION (enceinte sous pression/tige/fourche/doigts)
51	4	SONDÉ DE MESURE DE NIVEAU (enceinte sous pression/doigt de gant) (LMP)
52	1	THERMOCOUPLE DU DÔME (enceinte sous pression/ doigt de gant)

FIG-5.3.2.2 ENSEMBLE ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS

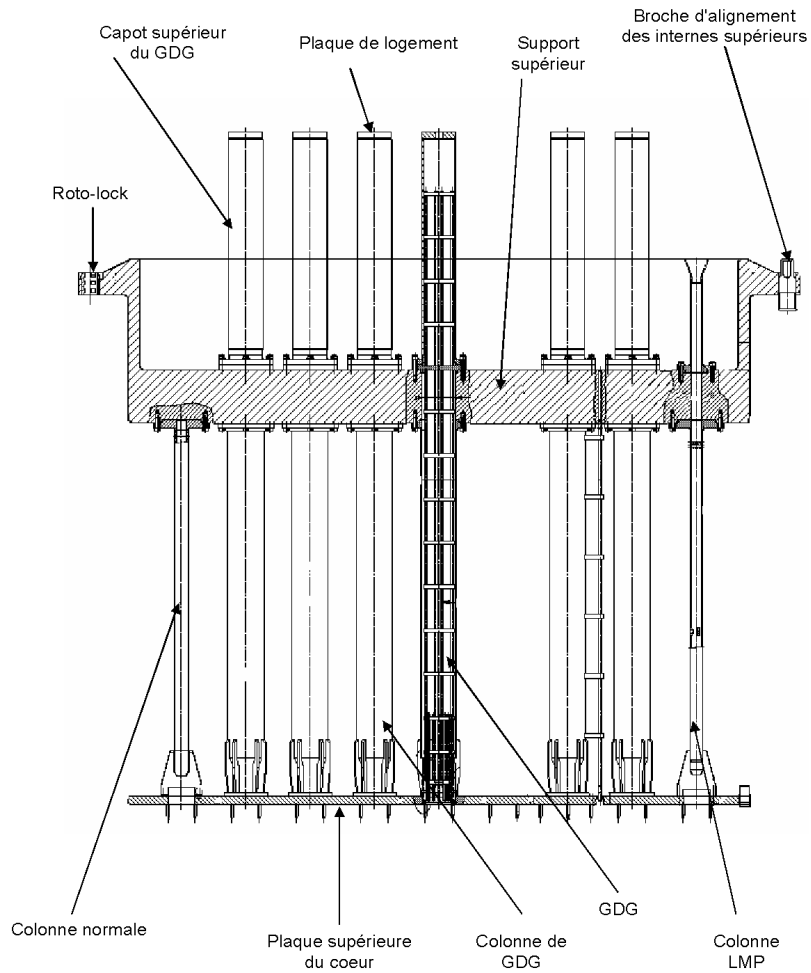


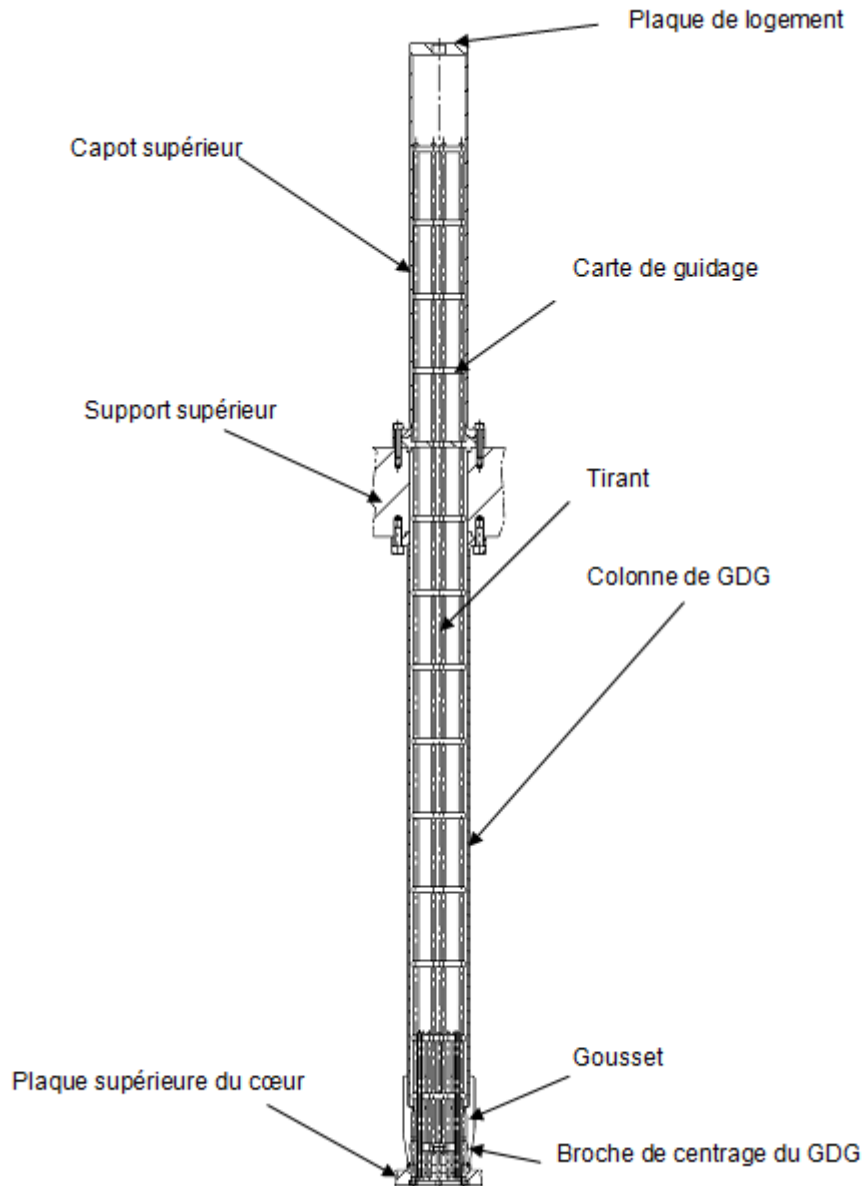
FIG-5.3.2.3 GUIDE DE GRAPPE ET COLONNE GDG, RELIÉE À LA PLAQUE SUPPORT SUPÉRIEUR ET À LA PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR

FIG-5.3.2.4 VUE DE DESSUS DE LA PLAQUE SUPÉRIEURE DU CŒUR

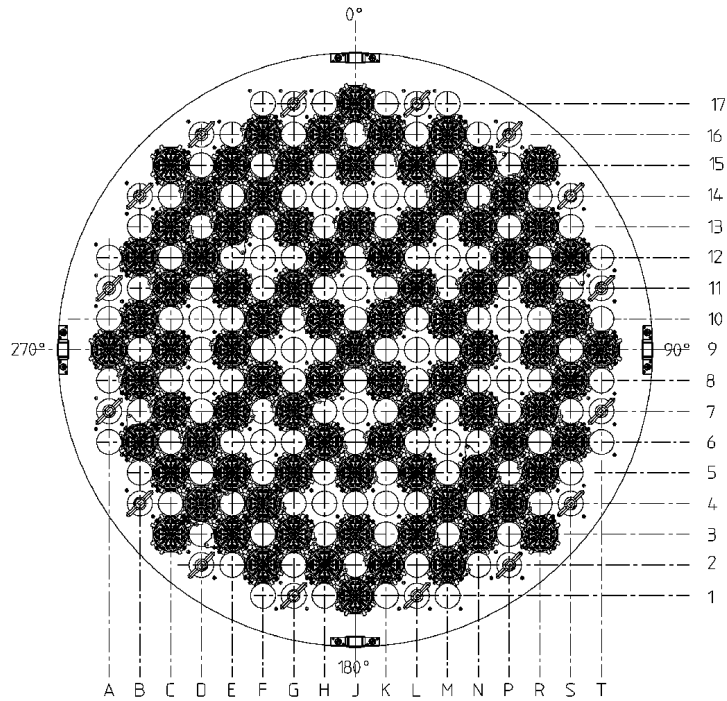
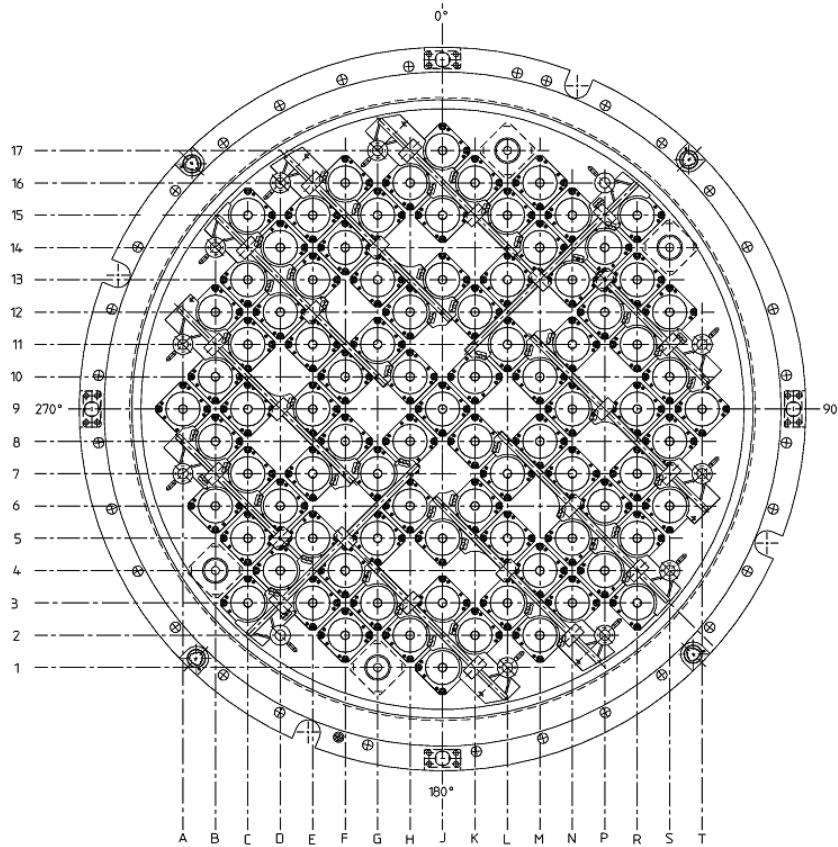


FIG-5.3.2.5 VUE DE DESSUS DES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS



**FIG-5.3.2.6 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN TUBE
D'INSTRUMENTATION**



FIG-5.3.2.7 PLAQUE DE LOGEMENT ET INTERFACE AVEC LA TIGE DE COMMANDE

□

□

FIG-5.3.2.8 ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS AVEC L'INSTRUMENTATION

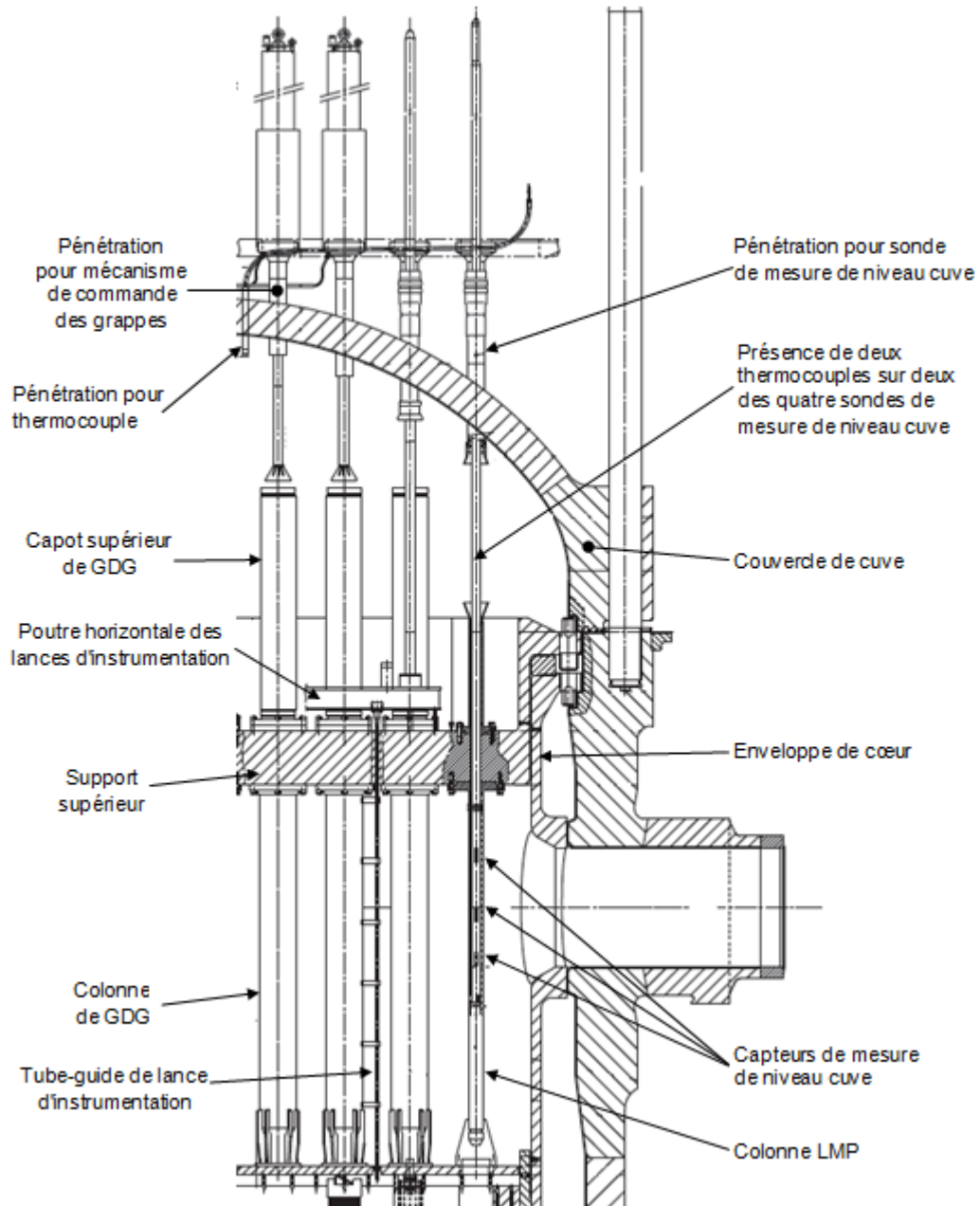
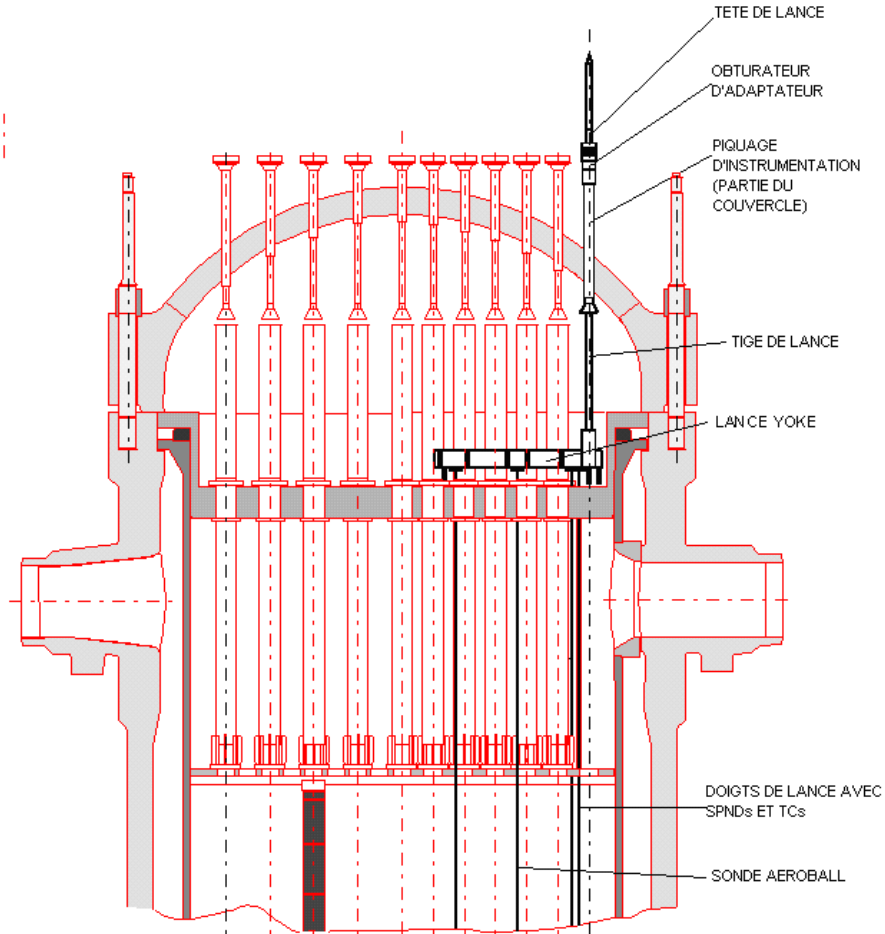
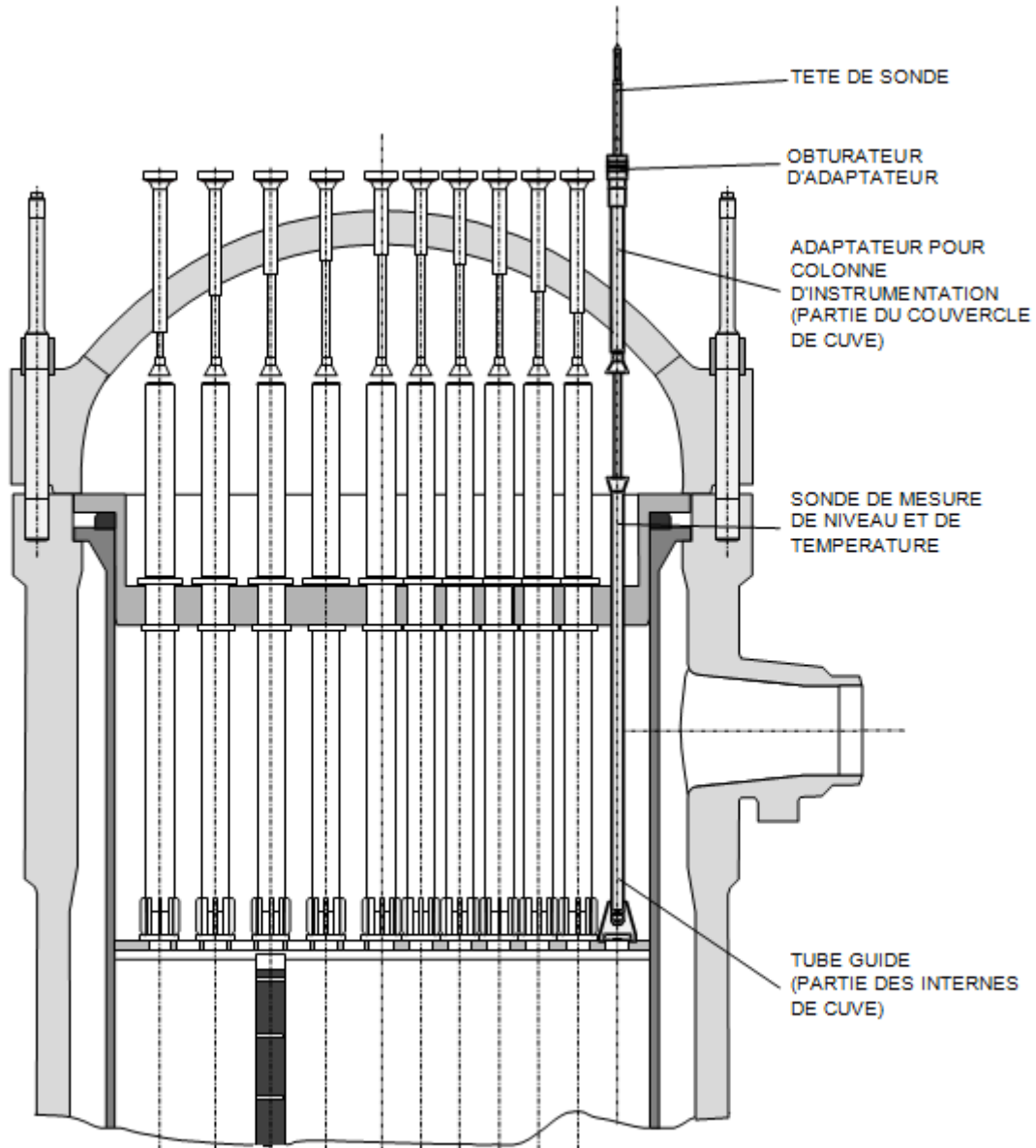


FIG-5.3.2.9 AMÉNAGEMENT DES LANCES D'INSTRUMENTATION



SPND SELF-POWERED NEUTRON DETECTOR
 TC THERMOCOUPLE

FIG-5.3.2.10 AMÉNAGEMENT DES SONDES DE MESURE DANS LA CUVE



NOTE: LES BARRES DE COMMANDE, ENTONNOIRS DE MANCHETTES THERMIQUES ET PIQUAGES EN ARRIERE PLAN NE SONT PAS REPRESENTES

FIG-5.3.2.11 AMÉNAGEMENT DES ADAPTATEURS

□

**FIG-5.3.2.12 AMÉNAGEMENT GENERAL DES LANCES
D'INSTRUMENTATION**

**FIG-5.3.2.13 AMÉNAGEMENT RADIAL DES SONDÉS DE MESURE
DE NIVEAU (LMP)**

SOMMAIRE

.5.3.3 CUVE DU RÉACTEUR – INTERNES INFÉRIEURS.	5
0. EXIGENCES DE SÛRETÉ	5
0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ	5
0.1.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	5
0.1.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU CŒUR	5
0.1.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	5
0.2. CRITÈRES FONCTIONNELS	5
0.2.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	5
0.2.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU CŒUR	5
0.2.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	5
0.3. EXIGENCES RELATIVES À LA CONCEPTION	6
0.3.1. EXIGENCES ISSUES DU CLASSEMENT DE SÛRETÉ	6
0.3.2. AUTRES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	6
0.3.3. AGRESSIONS INTERNES ET EXTERNES	7
0.4. ESSAIS	7
0.4.1. ESSAIS DE DÉMARRAGE	7
0.4.2. ESSAIS PÉRIODIQUES ET INSPECTION EN SERVICE	7
1. PRINCIPES DE CONCEPTION	7
1.1. GÉNÉRALITÉS	7
1.2. FONCTIONS DES ÉQUIPEMENTS INTERNES INFÉRIEURS DE LA CUVE	8
1.3. EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION	9
2. DESCRIPTION	9
2.1. STRUCTURE DE SUPPORT INFÉRIEUR DU CŒUR	9
2.1.1. ENVELOPPE DE CŒUR ET BRIDE	9
2.1.2. FOND SUPPORT DE CŒUR	9
2.1.3. DISPOSITIFS D'INTERFACE	10
2.2. RÉFLECTEUR LOURD	10
2.3. SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE DÉBIT	11
2.4. ANNEAU DE CALAGE	11
3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	11

3.1. GÉNÉRALITÉS	11
3.2. CHARGEMENTS ET CAS DE CHARGEMENT	11
3.3. INTERFACES	12
3.3.1. AVEC LA CUVE	12
3.3.2. AVEC LES ÉQUIPEMENTS INTERNES SUPÉRIEURS	12
3.3.3. AVEC LES ASSEMBLAGES DE COMBUSTIBLE DU CŒUR	12
4. CONCEPTION MÉCANIQUE	13
4.1. CALCULS, MÉTHODES ET OUTILS POUR LA CONCEPTION MÉCANIQUE ET LES ANALYSES DE CONTRAINTES	13
4.1.1. BRIDE DE L'ENVELOPPE DU CŒUR	13
4.1.2. FOND SUPPORT DE CŒUR	13
4.1.3. SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE DÉBIT	13
4.2. CONCEPTION DU RÉFLECTEUR LOURD	13
4.2.1. EXIGENCES FONCTIONNELLES	13
4.2.2. CHARGEMENTS	14
4.2.3. DESCRIPTION	14
4.2.4. CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT	14
4.2.5. COMPORTEMENT HYDRAULIQUE	14
4.2.6. DILATATION HORIZONTALE	15
4.3. MATÉRIAUX	15
4.4. ESSAIS	15
4.5. IMPLANTATION	15
4.6. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET FACILITÉ DE REPLACEMENT	15
5. CONCEPTION HYDRAULIQUE	16
5.1. REFROIDISSEMENT DU DÔME DE LA CUVE	16
5.2. RÉPARTITION À L'ENTRÉE DU CŒUR	16
5.3. PERTES DE CHARGE	16
5.4. DÉBIT DE BYPASS	16
5.5. ESSAIS	16
6. ÉVALUATION DE SÛRETÉ	16
6.1. CONFORMITÉ À LA RÉGLEMENTATION	16
6.2. RESPECT DES CRITÈRES FONCTIONNELS	17
6.2.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	17



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.3

PAGE 3/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

6.2.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE DU CŒUR	17
6.2.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	18
6.3. CONFORMITÉ AUX EXIGENCES DE CONCEPTION	18
6.3.1. CLASSEMENT DE SÛRETÉ	18
6.3.2. CLASSEMENT MÉCANIQUE	18
6.3.3. CLASSEMENT SISMIQUE	18
6.3.4. AGRESSIONS	18
6.4. ESSAIS	18
6.4.1. ESSAIS DE DÉMARRAGE	18
6.4.2. ESSAIS PÉRIODIQUES ET INSPECTION EN SERVICE	19
7. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT	19

TABLEAUX :

TAB-5.3.3.1 MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS	21
TAB-5.3.3.2 PERTES DE CHARGE DANS LES ÉQUIPEMENT INTERNES INFÉRIEURS	22
TAB-5.3.3.3 DÉBITS DE BYPASS MAXIMAUX DANS LA CUVE	23

FIGURES :

FIG-5.3.3.1 ENSEMBLE CUVE	24
FIG-5.3.3.2 SECTION TRANSVERSALE	25
FIG-5.3.3.3 ÉQUIPEMENTS INTERNES INFÉRIEURS	26
FIG-5.3.3.4 RÉFLECTEUR LOURD	27

.5.3.3 CUVE DU RÉACTEUR – INTERNES INFÉRIEURS

0. EXIGENCES DE SÛRETÉ

0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ

0.1.1. Maîtrise de la réactivité

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent participer au contrôle de la réactivité en maintenant la géométrie du cœur quelles que soient les conditions de fonctionnement.

0.1.2. Évacuation de la puissance du cœur

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent participer à l'évacuation de la puissance du cœur en maintenant une géométrie permettant un refroidissement suffisant quelles que soient les conditions de fonctionnement.

0.1.3. Confinement des substances radioactives

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent être conçus de manière à contribuer au confinement des substances radioactives en maintenant l'intégrité des assemblages combustibles.

Ils doivent participer au maintien de l'intégrité de la deuxième barrière de confinement en limitant le flux de neutrons qui pourrait conduire à la fragilisation de la cuve du réacteur.

Ils doivent participer à la surveillance de l'intégrité de la deuxième barrière de confinement.

0.2. CRITÈRES FONCTIONNELS

0.2.1. Maîtrise de la réactivité

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent garantir le positionnement et l'alignement des éléments de combustible.

0.2.2. Évacuation de la puissance du cœur

Les équipements internes inférieurs de la cuve du réacteur doivent garantir une bonne circulation et répartition du fluide primaire dans le cœur pour toutes les conditions de fonctionnement PCC 1 à 4 et RRC-A. En particulier, les déformations de la géométrie des internes inférieurs en cas d'accident doivent rester suffisamment limitées pour garantir une géométrie du cœur qui permette l'évacuation de la puissance.

0.2.3. Confinement des substances radioactives

Intégrité de la première barrière de confinement

Le niveau vibratoire des équipements internes inférieurs du réacteur en fonctionnement normal doit être suffisamment bas pour empêcher toute contrainte inacceptable sur les assemblages de combustible.

Intégrité de la deuxième barrière de confinement

Les internes inférieurs doivent constituer une protection des viroles de cœur de la cuve vis-à-vis du flux neutronique.

Les équipements internes inférieurs de la cuve du réacteur doivent participer au programme de surveillance du matériau de la cuve du réacteur. Des éprouvettes de ce matériau sont contenues dans

des capsules insérées dans des paniers d'irradiation fixés à l'extérieur de l'enveloppe de cœur. Ces capsules peuvent être extraites des paniers d'irradiation et réinsérées pour permettre la réalisation du programme de surveillance du matériau de la cuve.

0.3. EXIGENCES RELATIVES À LA CONCEPTION

0.3.1. Exigences issues du classement de sûreté

0.3.1.1. Classement de sûreté

Les équipements internes inférieurs de la cuve du réacteur doivent être classés selon les principes de classification présentés dans le paragraphe sur la classification des équipements (voir sous-chapitre 3.2).

0.3.1.2. Critère de défaillance unique (active et passive)

Sans objet

0.3.1.3. Alimentations électriques secourues

Sans objet

0.3.1.4. Qualification aux conditions de fonctionnement

Sans objet

0.3.1.5. Classifications des équipements mécaniques, électriques et de contrôle-commande

Les équipements internes inférieurs de la cuve du réacteur sont répartis en deux sous-classes de qualification mécanique :

- les éléments de support du cœur (ES) qui sont nécessaires à l'intégrité mécanique des assemblages de combustible,
- les éléments internes (EI).

Les éléments de support du cœur doivent être conçus selon le RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) Volume G.

0.3.1.6. Classement sismique

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent être classés sismiques, selon les principes présentés dans le paragraphe sur le classement des équipements (voir sous-chapitre 3.2).

0.3.2. Autres exigences réglementaires

0.3.2.1. Textes officiels

Deux documents s'appliquent aux équipements internes inférieurs de la cuve :

- l'arrêté ESPN du 12/12/2005 s'applique aux internes de cuve en tant que composants faisant partie de l'équipement cuve. Néanmoins, les modalités d'application de l'ESPN sont déclinées selon la classification propre de chaque composant des internes de cuve,
- la lettre DSIN 079/2000 : "Options de Sûreté du projet de réacteur EPR".

0.3.2.2. Règles fondamentales de sûreté

L'application des RFS est présentée au sous-chapitre 1.7.

0.3.2.3. Directives techniques

Les prescriptions générales des directives techniques s'appliquent aux équipements internes de la cuve (voir sous-chapitre 1.7).

0.3.2.4. Textes spécifiques aux réacteurs EPR

Aucun

0.3.3. Agressions internes et externes

0.3.3.1. Agressions internes

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent être protégés vis-à-vis des conséquences des agressions internes si leur perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.4.

0.3.3.2. Agressions externes

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent être protégés vis-à-vis des conséquences des agressions externes si leur perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.3.

0.4. ESSAIS

0.4.1. Essais de démarrage

Les essais de démarrage doivent permettre de s'assurer de la conception adéquate et des performances des équipements internes inférieurs de la cuve.

0.4.2. Essais périodiques et inspection en service

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent être conçus pour permettre une inspection périodique visuelle de ses principaux composants. Il doit être possible de les retirer afin de permettre l'inspection des parois internes de la cuve.

Les équipements internes inférieurs de la cuve doivent être conçus pour permettre la réalisation des essais périodiques conformément aux règles définies au chapitre IX des Règles Générales d'Exploitation.

1. PRINCIPES DE CONCEPTION

1.1. GÉNÉRALITÉS

Au cours du fonctionnement du réacteur, toute la structure des équipements internes de la cuve, y compris l'instrumentation du réacteur, se comporte globalement comme un seul ensemble à l'intérieur de la cuve.

Cependant, certaines conditions de fonctionnement du réacteur (par exemple : rechargement, contrôle en service, manutention...) obligent à faire la distinction entre les deux structures principales qui constituent deux ensembles distincts :

- les internes supérieurs qui sont systématiquement retirés pour le rechargement,
- les internes inférieurs, qui ne sont retirés que pour le contrôle en service de la cuve.

Cette section ne concerne que les internes inférieurs. Les équipements internes supérieurs sont traités dans la section 5.3.2.

Les équipements internes inférieurs sont constitués de trois éléments principaux :

- la structure de support inférieure du cœur, qui est la principale structure résistante des équipements internes inférieurs,
- le réflecteur lourd, qui est la structure de maintien latéral du cœur,
- le système de distribution de débit qui participe à la répartition du débit depuis le plénum inférieur jusqu'en entrée du cœur.

1.2. FONCTIONS DES ÉQUIPEMENTS INTERNES INFÉRIEURS DE LA CUVE

Les principales fonctions des équipements internes inférieurs sont :

1) *Fonction de support et de positionnement du cœur*

- Les équipements internes inférieurs supportent, positionnent, maintiennent, protègent et guident les composants du cœur (assemblages de combustible) afin d'assurer un refroidissement homogène du cœur.
- Les équipements internes inférieurs limitent les chargements mécaniques provenant des composants du cœur.
- Les équipements internes inférieurs permettent le chargement, le déchargement et le rechargement du cœur.

2) *Fonction de répartition de débit du réfrigérant de la cuve*

Les équipements internes inférieurs guident le réfrigérant primaire jusqu'au cœur :

Le débit du fluide pénétrant dans les assemblages de combustible doit, autant que possible, être le même pour tous les éléments afin de :

- minimiser l'accroissement des forces de soulèvement des assemblages de combustible, provoqué par un débit supérieur au débit mécanique moyen par assemblage,
- minimiser le risque d'atteinte du Rapport d'Ébullition Critique (REC), provoqué par un débit inférieur au débit thermohydraulique moyen par assemblage,
- minimiser le débit transverse entre deux assemblages adjacents afin de réduire le risque de vibration des crayons de combustible.

Ils doivent permettre d'obtenir un bon coefficient de mélange entre les boucles pour :

- favoriser une bonne homogénéisation de la concentration en bore,
- limiter les différences de température du réfrigérant dans le cœur du réacteur lors de transitoires dissymétriques.

Ils doivent assurer la circulation du fluide jusqu'au dôme supérieur de la cuve pour :

- favoriser la circulation naturelle du circuit primaire dans le cas d'une perte de la circulation forcée du réfrigérant,
- assurer le refroidissement des équipements internes de la cuve et de la cuve elle-même.

3) *Relation avec les autres équipements*

Les équipements internes inférieurs :

- assurent une protection contre l'irradiation de la cuve,
- supportent et protègent les capsules d'irradiation du programme de surveillance de la cuve,
- supportent et orientent les équipements internes supérieurs,
- fournissent un support secondaire du cœur afin de limiter les conséquences d'une chute accidentelle du cœur suite à une défaillance hypothétique de l'enveloppe de cœur.

1.3. EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION

La conception de la structure de support inférieur du cœur, similaire à celle du palier N4 français, bénéficie du retour d'expérience positif acquis sur ce palier. Cependant, aucune expérience d'exploitation avec un réflecteur lourd n'est disponible en France ou en Allemagne.

2. DESCRIPTION

Les équipements internes inférieurs, présentés sur la figure [FIG-5.3.3.1](#) sont :

- supportés verticalement par le plan de pose usiné dans la bride de la cuve,
- fermement maintenus verticalement à l'intérieur de la cuve par l'anneau de calage (ressort type rondelle Belleville) se trouvant entre les brides des équipements internes inférieurs et supérieurs : il empêche les équipements internes inférieurs de se soulever du plan de pose,
- positionnés dans la cuve par le système de maintien radial inférieur.

Cette disposition permet une mise en place et un retrait faciles de toute la structure.

2.1. STRUCTURE DE SUPPORT INFÉRIEUR DU CŒUR

La structure de support inférieure du cœur est l'élément majeur de la structure des équipements internes inférieurs de la cuve.

Elle est constituée :

- de l'enveloppe du cœur et de sa bride,
- du fond support de cœur,
- des dispositifs d'interface avec la cuve et les équipements internes supérieurs.

La structure de support inférieure du cœur transmet les chargements verticaux à la bride de la cuve et répartit les chargements horizontaux entre la bride de la cuve et le système de maintien radial inférieur.

2.1.1. Enveloppe de cœur et bride

Une bride supérieure, la bride de l'enveloppe de cœur, repose sur la bride de la cuve et transmet à la cuve les chargements des assemblages de combustible et des équipements internes inférieurs.

Une enveloppe cylindrique, l'enveloppe de cœur, est soudée à la bride de l'enveloppe du cœur et est constituée de sections cylindriques soudées ensemble.

La partie supérieure de l'enveloppe comporte quatre ajutages de sortie qui lui sont intégrés et qui sont en face des quatre tubulures de sortie de la cuve. Ils constituent la voie de passage du réfrigérant primaire entre le cœur et les tubulures de sortie de la cuve.

Le jeu radial, entre les ajutages de sortie de l'enveloppe de cœur et ceux de la cuve, est ajusté afin de limiter le débit de contournement du cœur.

Les paniers des capsules d'irradiation sont fixés à l'extérieur de l'enveloppe de cœur aux endroits où le flux neutronique est supérieur au maximum de celui qui existe sur le diamètre intérieur des viroles de la cuve. Ils positionnent, supportent, immobilisent et guident les capsules d'irradiation. Ils participent également à leur refroidissement.

2.1.2. Fond support de cœur

Le fond support est soudé au bas de l'enveloppe du cœur. Cette épaisse plaque forgée supporte tous les assemblages de combustible, le réflecteur lourd et le système de distribution de débit. Il possède

des orifices qui dirigent et répartissent le débit de réfrigérant primaire jusqu'à l'entrée du cœur. Le système de maintien radial inférieur positionne les équipements internes inférieurs par rapport à la cuve.

Les assemblages de combustible qui constituent le cœur, sont placés dans la cavité de cœur qui est délimitée latéralement par le réflecteur lourd. Ils reposent sur le fond support qui contient les pions de centrage inférieurs pour positionner et aligner les embouts inférieurs des assemblages de combustible.

2.1.3. Dispositifs d'interface

Les dispositifs d'interface sont constitués des broches d'alignement et du système de maintien radial inférieur.

L'alignement entre le couvercle et la cuve est assuré par 8 demi-broches, dont quatre sont fixées à la bride de l'enveloppe de cœur et dépassent au-dessus et en dessous de la bride.

La partie des broches dépassant sous la bride s'engage dans les logements de la bride de la cuve pour assurer l'alignement entre l'ensemble support inférieur du cœur et la cuve. La partie des broches dépassant au-dessus de la bride de l'enveloppe du cœur s'engage dans 4 demi-broches fixées à la bride des internes supérieurs.

Ce dispositif de 8 demi-broches assure l'alignement de la cuve, de son couvercle et des structures internes inférieures et supérieures. Un jeu minimum est conservé entre les broches de centrage et leurs logements pour assurer un alignement correct et faciliter le montage.

Le système de maintien radial inférieur est constitué de huit clavettes radiales, qui sont soudées sur la paroi de la cuve et s'engagent dans des glissières de maintien radial fixées à la périphérie du fond support de cœur.

Quatre de ces clavettes, sur les axes principaux de la cuve, assurent le centrage tangentiel des équipements internes inférieurs (jeu faible en fonctionnement normal) et servent de butées radiales (jeu relativement grand) dans les situations de 4^{ème} catégorie. Les quatre autres clavettes ne servent que de butées radiales. Les glissières sur les clavettes et sur les équipements internes permettent d'assurer les jeux nécessaires dans les sens tangentiel, radial et vertical. Un rechargement dur est effectué sur les glissières participant au centrage tangentiel (jeux faibles).

De fait, ce système positionne précisément et limite les déplacements de l'extrémité inférieure de l'ensemble support inférieur du cœur par rapport à la cuve, tout en permettant une libre expansion radiale et axiale entre la cuve et les équipements internes.

D'autre part, ces huit clavettes du système de maintien radial constituent également un support secondaire du cœur, dont les fonctions sont, après une défaillance hypothétique de l'enveloppe du cœur, de :

- limiter le déplacement vertical vers le bas des internes inférieurs pour préserver la capacité de chute des grappes, éviter le retrait des grappes de commande du cœur et conserver l'espace annulaire pour le refroidissement,
- transmettre les chargements verticaux de la chute uniformément à la cuve.

2.2. RÉFLECTEUR LOURD

Le réflecteur lourd se trouve à l'intérieur de l'enveloppe du cœur, et repose sur le fond support de cœur.

Ce sous-ensemble forme le pourtour du cœur. Via le contrôle dimensionnel de la cavité de cœur, c'est-à-dire le jeu entre les assemblages de combustible périphériques et le réflecteur, il contribue au contrôle du cheminement du fluide caloporteur dans le cœur.

La chaleur générée à l'intérieur de la structure du réflecteur lourd en acier par absorption du rayonnement gamma est évacuée par un réseau de canaux verticaux alimentés par le réfrigérant primaire, ainsi que par les jeux existant entre le réflecteur lourd et l'enveloppe de cœur d'un côté, et les assemblages combustibles de l'autre.

Pour éviter tout assemblage soudé ou boulonné à proximité du cœur, le réflecteur est constitué d'un empilage de galettes forgées positionnées entre elles grâce à des clavettes et des bagues ajustées. L'assemblage des galettes est fixé au fond support de cœur par des tirants.

2.3. SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE DÉBIT

Le système de distribution de débit est fixé sous le fond support de cœur au moyen de colonnes verticales boulonnées. Il répartit le débit de façon homogène à l'entrée du fond support de cœur.

2.4. ANNEAU DE CALAGE

L'anneau de calage est un ressort Belleville qui se trouve entre les brides des ensembles support supérieur et inférieur du cœur lorsque ces structures sont assemblées à l'intérieur de la cuve. Il ne fait pas partie des internes inférieurs.

Ce ressort sert à maintenir une précharge permettant de limiter les déplacements radiaux et interdisant les déplacements axiaux des internes supérieurs et inférieurs, lors du fonctionnement du réacteur. Cette précharge n'existe que lorsque le couvercle de cuve est en place et les goujons de fermeture de la cuve serrés.

3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Les équipements internes inférieurs sont conçus en accord avec les spécifications générales, c'est-à-dire les conditions spécifiées de fonctionnement, les exigences relatives aux interfaces et les règles et critères de conception.

À chaque condition de fonctionnement spécifique correspond un ensemble de paramètres environnementaux : pression, forces, températures du réfrigérant, flux thermiques, irradiation neutronique.

Ces paramètres agissent (généralement en fonction du temps) sur les composants sans produire de travail mécanique.

Associés aux chargements mécaniques et aux effets thermiques, ces paramètres définissent des ensembles de chargements qui sont utilisés lors de la conception mécanique.

3.1. GÉNÉRALITÉS

La durée de vie des structures internes inférieures est de ans.

La classification en catégories, la liste des conditions correspondantes et leur description sont fournies dans la section se rapportant à la conception des composants mécaniques (voir section 3.6.1).

3.2. CHARGEMENTS ET CAS DE CHARGEMENT

Les équipements internes de la cuve sont conçus structurellement pour les chargements permanents et les transitoires du fonctionnement normal et des conditions perturbées et exceptionnelles résultant de transitoires de température, des agressions externes et de la rupture du circuit primaire. Ceci garantit la capacité de refroidissement et d'arrêt du réacteur en toutes circonstances.

La conception des équipements internes inférieurs prend en compte les types de chargements suivants pour les conditions de fonctionnement normal et les conditions accidentelles :

- 1) différences de pression dues à la circulation du réfrigérant primaire,
- 2) poids des équipements internes,
- 3) chargement supplémentaire comme celui dû aux autres structures, au cœur, à l'instrumentation, etc. (par exemple, poids des assemblages de combustible, compression des ressorts des assemblages de combustible et des composants du cœur, précharge de l'anneau de calage, chargements provenant de la réaction entre les composants, etc.),
- 4) chargements sismiques ou autres chargements résultant du mouvement de la cuve,
- 5) réactions des supports ou butées,
- 6) chargements dus aux effets de la température, gradients thermiques ou dilatations différentielles,
- 7) chargements résultant des forces de l'écoulement du fluide,
- 8) chargements dus aux transitoires de pression, comme ceux résultant de la rupture de l'enceinte sous pression (tuyauterie connectée par son extrémité à la boucle primaire),
- 9) chargements vibratoires d'origine mécanique ou hydraulique.

Les chargements qui peuvent intervenir simultanément sont le plus souvent ajoutés sous forme de somme directe. Une combinaison quadratique (racine carrée de la somme des carrés) est appliquée en situations de fonctionnement de 4^{ème} catégorie pour le cumul des chargements sismiques et des chargements dus à l'accident de perte de réfrigérant primaire.

3.3. INTERFACES

Les équipements internes inférieurs possèdent les interfaces suivantes :

3.3.1. Avec la cuve

Dans le plénum inférieur, 8 clavettes radiales soudées sur la cuve centrent et positionnent les équipements internes inférieurs.

La bride de l'enveloppe de cœur repose sur le rebord de la cuve et lui transmet le chargement vertical provenant du cœur et des internes inférieurs.

3.3.2. Avec les équipements internes supérieurs

Ils sont positionnés dans les équipements internes inférieurs au niveau de la plaque supérieure du cœur : 4 broches de guidage, fixées sur la partie supérieure du réflecteur lourd, positionnent cette plaque.

3.3.3. Avec les assemblages de combustible du cœur

Les 241 assemblages de combustible sont supportés par le fond support de cœur et maintenus latéralement par le réflecteur lourd, dont le contour intérieur constitue la cavité du cœur.

Chaque assemblage de combustible est positionné sur le fond support de cœur à l'aide de deux pions de centrage inférieurs fixés sur le fond support : tout chargement horizontal provenant des assemblages est transmis au fond support via ces pions.

Entre le réflecteur lourd et les assemblages de combustible périphériques, le jeu est aussi faible que possible pour limiter le débit de bypass : les grilles des assemblages de combustible peuvent entrer en contact avec les galettes du réflecteur lourd, particulièrement en cas de chargements dynamiques. Les grilles ne sont pas situées au niveau des jonctions entre les galettes.

4. CONCEPTION MÉCANIQUE

4.1. CALCULS, MÉTHODES ET OUTILS POUR LA CONCEPTION MÉCANIQUE ET LES ANALYSES DE CONTRAINTES

La conception des différentes pièces de la structure de support inférieur du cœur est basée sur une extrapolation de la conception du N4 français.

Les calculs de dimensionnement suivants ont été faits pour justifier les nouvelles caractéristiques et les éventuels nouveaux chargements. Les principaux composants, les nouvelles caractéristiques ou les zones critiques ont été étudiés □, en prenant en compte les chargements les plus pénalisants décrits au [§ 3.2.](#)

Les éléments des internes non classés ES font l'objet de justifications spécifiques par rapport au retour d'expérience ou aux modes de dégradation potentiels.

□

4.1.1. Bride de l'enveloppe du cœur

Sa fonction est de supporter verticalement les équipements internes inférieurs dans la cuve.

Une analyse de la bride □ a montré l'acceptabilité des contraintes pour toute partie de cette bride en fonctionnement normal et en conditions accidentelles, ainsi que l'absence de risque de fatigue.

4.1.2. Fond support de cœur

Cette plaque □ est perforée □. Elle est équipée sur son pourtour de 8 rainures qui accueillent les clavettes de la cuve.

Une analyse du fond support □ a montré l'acceptabilité des contraintes pour toute partie de cette plaque en fonctionnement normal et en conditions accidentelles, ainsi que l'absence de risque de fatigue.

4.1.3. Système de distribution de débit

Ce système est fixé sous le fond support du cœur.

Une analyse □ a été effectuée pour déterminer son comportement statique et dynamique dans des conditions de fonctionnement normales. Cette analyse a montré que les contraintes dans la structure sont acceptables.

4.2. CONCEPTION DU RÉFLECTEUR LOURD

4.2.1. Exigences fonctionnelles

La structure réfléchit les neutrons vers le cœur, d'où la nécessité d'un composant massif.

Le débit de bypass nécessaire pour refroidir le réflecteur lourd est limité à 1,5 % du débit d'entrée total de la cuve.

Tout jet d'eau du réflecteur sur les crayons de combustible périphériques est évité.

Les températures de l'acier du réflecteur sont limitées pour :

- contrôler les dimensions transversales de la cavité de cœur et le jeu avec l'enveloppe du cœur,
- limiter le gonflement sous irradiation de l'acier.

4.2.2. Chargements

Dans des conditions normales sont appliqués :

- le poids propre,
- les chargements hydrauliques verticaux,
- les chargements thermiques, y compris l'échauffement dû au rayonnement gamma.

Dans des situations de 4^{ème} catégorie sont appliqués :

- les chargements sismiques,
- les chargements dus à la rupture du circuit primaire.

4.2.3. Description

Le réflecteur lourd est constitué d'un empilage de ☐ galettes perforées et massives ☐ positionnées entre elles grâce à des clavettes et des bagues ajustées. Ces galettes sont en outre fixées entre elles par huit tirants ☐. Ce sous-ensemble est centré dans les équipements internes inférieurs grâce à quatre clavettes de positionnement fixées sur le fond support de cœur.

4.2.4. Circuit de refroidissement

Les rayonnements gamma provoquent l'échauffement de l'acier des galettes dont l'importance dépend notamment de la gestion du combustible choisie (out/in pour Flamanville 3). Pour limiter cet échauffement, 4 sortes de canaux refroidissent le réflecteur :

- un nombre suffisant de canaux cylindriques verticaux ☐ munis de diaphragmes ☐ à la base de chaque galette ☐,
- un espace annulaire ☐ entre le réflecteur et l'enveloppe du cœur,
- des canaux à l'intérieur et à l'extérieur de chacun des huit tirants,
- des canaux au fond des rainures qui reçoivent les clés verticales dans les galettes.

Le nombre et la répartition des canaux ☐ sont le résultat des analyses d'optimisation destinées à obtenir une température locale maximale acceptable et une température moyenne basse sur l'ensemble du composant. Les trous ☐ tiennent également compte des contraintes de fabrication.

4.2.5. Comportement hydraulique

Une circulation de fluide, nécessaire pour refroidir le réflecteur, pénètre dans la chambre d'eau de la galette inférieure du réflecteur par ☐ perçages ☐, puis est répartie entre les canaux de refroidissement.

La répartition adéquate entre ces canaux est assurée par les diaphragmes ☐ des canaux cylindriques verticaux ☐, et par ☐ trous ☐ en bas de l'espace annulaire entre le réflecteur lourd et l'enveloppe du cœur.

Cette conception conduit à des pressions dans le réflecteur légèrement inférieures à celles du cœur.

Les pressions au sommet du réflecteur étant influencées par les positions des tubulures de sortie de la cuve, les dispositions suivantes assurent une faible sensibilité des différents débits de refroidissement aux éventuelles hétérogénéités de pression au sommet du réflecteur :

- épaisseur de l'espace annulaire entre la galette supérieure et l'enveloppe du cœur réduite ☐ et usinage d'une rainure circulaire sur le pourtour extérieur de l'avant dernière galette,
- diaphragmes ☐ des canaux cylindriques verticaux ☐.

Avec cette configuration, le débit minimum de bypass est de 0,75 % du débit d'entrée de la cuve.

Les dilatations différentielles verticales des galettes peuvent produire localement des ouvertures entre ces dernières [\[1\]](#); ces ouvertures entre les galettes n'ont qu'une faible influence sur le bypass.

4.2.6. Dilatation horizontale

La dilatation thermique radiale des galettes est plus importante que celle de l'enveloppe du cœur ; le jeu à froid entre ces deux pièces se réduit [\[1\]](#) dans les conditions nominales de fonctionnement.

La température moyenne basse du réflecteur lourd évite le risque de déformation d'ensemble significative pouvant résulter du gonflement sous irradiation, et qui pourrait gêner les opérations de chargements et déchargement.

4.3. MATÉRIAUX

Les matériaux et leur élaboration sont conformes au RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) – Tome I – sous-chapitre G 2 000.

Le matériau de base des produits forgés ou laminés des équipements internes de la cuve est l'acier inoxydable austénitique [\[1\]](#). La faible teneur en carbone n'est nécessaire que pour les structures soudées.

Les dispositifs de fixation et assimilés (pions) sont en acier austénitique [\[1\]](#).

Les matériaux des principaux composants sont donnés dans le tableau [TAB-5.3.3.1](#).

Les alliages à base de nickel [\[1\]](#) peuvent être utilisés pour les petites pièces (pions, glissières, ressorts) pour obtenir une homogénéité de la dilatation thermique ou pour supporter des niveaux de contraintes élevés. C'est le cas des glissières de clés radiales et de leurs pions et vis de fixation.

4.4. ESSAIS

Les essais globaux [\[1\]](#) réalisés à des fins de validation de la réponse vibratoire des internes inférieurs du réacteur EPR suite aux évolutions dans leur conception par rapport aux paliers précédents sont décrits au paragraphe 2.1.2 du sous-chapitre 1.5.

Les essais permettant de valider la réponse de l'anneau de calage sont décrits au paragraphe 2.1.2 du sous-chapitre 1.5.

Les essais de vibration des tirants du réflecteur lourd sont décrits au paragraphe 2.3.2 du sous-chapitre 1.5.

Les résultats de ces essais valident le comportement vibratoire des internes inférieurs.

4.5. IMPLANTATION

La disposition des équipements internes inférieurs à l'intérieur de la cuve est présentée sur les figures [FIG-5.3.3.1](#) et [FIG-5.3.3.2](#).

Une vue d'ensemble des équipements internes inférieurs de la cuve est présentée sur la figure [FIG-5.3.3.3](#).

La figure [FIG-5.3.3.4](#) présente le réflecteur lourd.

4.6. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET FACILITÉ DE REMPLACEMENT

Les surfaces intérieures des équipements internes inférieurs peuvent être contrôlées visuellement lorsqu'ils sont dans la cuve.

De plus, lorsque les équipements internes inférieurs sont sortis et posés sur leur stand de stockage dans la piscine, toutes les surfaces extérieures peuvent être inspectées.

5. CONCEPTION HYDRAULIQUE

5.1. REFROIDISSEMENT DU DÔME DE LA CUVE

La conception des équipements internes de la cuve est faite pour obtenir un dôme fermé et "tiède" (i.e. : température intermédiaire entre branches chaudes et froides).

En ce qui concerne la conception des équipements internes inférieurs, la mise en œuvre d'un dôme fermé et "tiède" est assurée par des orifices calibrés placés dans la bride de l'enveloppe du cœur afin que le débit de bypass requis provenant de la branche froide puisse atteindre directement l'espace annulaire vers le dôme.

5.2. RÉPARTITION À L'ENTRÉE DU CŒUR

Un système de distribution de débit est placé dans le plénum inférieur pour obtenir une distribution de débit qui soit acceptable à l'entrée du cœur.

5.3. PERTES DE CHARGE

La perte de charge totale dans la cuve, calculée pour la meilleure valeur estimée du débit à 100 % de la puissance nominale est fixée à \square bar ; la part due aux assemblages combustibles est d'environ \square bar \square .

La répartition correspondante des pertes de charge, ainsi que les vitesses du réfrigérant primaire, dans les équipements internes inférieurs est donnée dans le tableau [TAB-5.3.3.2](#).

5.4. DÉBIT DE BYPASS

La tolérance sur la répartition du débit de bypass (valeurs maximales) en % du débit total à l'entrée de la cuve est donnée dans le tableau [TAB-5.3.3.3](#).

Le respect de ces valeurs de découplage limite le débit de bypass à la valeur maximale de 5,5 %.

5.5. ESSAIS

Les essais de caractérisation hydraulique globale des internes inférieurs, réalisés sur la maquette \square , ainsi que leurs résultats, sont traités au paragraphe 2.1.1 du sous-chapitre 1.5.

Le débit à l'entrée du réflecteur lourd a été vérifié par des essais décrits au paragraphe 2.3.1 du sous-chapitre 1.5.

Ces résultats montrent que les exigences fonctionnelles en fonctionnement normal sur les débits en entrée cœur sont respectées, et que le dispositif de distribution de débit remplit bien son rôle.

6. ÉVALUATION DE SÛRETÉ

6.1. CONFORMITÉ À LA RÉGLEMENTATION

La conception des équipements internes inférieurs de la cuve du réacteur est conforme à la réglementation générale en vigueur (voir sous-chapitre 1.7), notamment en ce qui concerne la réglementation sur les contraintes admissibles et le choix des matériaux, et ne fait pas l'objet de dérogations particulières.

6.2. RESPECT DES CRITÈRES FONCTIONNELS

6.2.1. Maîtrise de la réactivité

La conception neutronique du cœur est présentée dans le sous-chapitre 4.3.

La conception des internes inférieurs est telle qu'en conditions exceptionnelles ou accidentelles, la géométrie du cœur est maintenue et les grappes peuvent toujours être insérées et maintenues dans le cœur :

- La structure de support inférieur du cœur maintient la géométrie du cœur par les pions de centrage qui assurent le positionnement et l'alignement des embouts inférieurs des assemblages combustibles.
- L'anneau de calage assure un maintien vertical adéquat des internes. Il a fait l'objet d'essais spécifiques sur maquette lors de sa conception (voir paragraphe 2.1 du sous-chapitre 1.5).
- Le support secondaire du cœur est dimensionné pour limiter le déplacement vertical vers le bas des internes inférieurs et ainsi préserver la capacité de chute des grappes de commande ou éviter leur désengagement.

La bonne tenue des internes inférieurs de cuve aux cas de chargements décrits au [§ 3.](#), est démontrée par les résultats des études mécaniques (voir [§ 4.](#)).

6.2.2. Évacuation de la puissance du cœur

La conception thermohydraulique des internes inférieurs de la cuve garantit l'évacuation de la chaleur produite dans le cœur dans les conditions normales de fonctionnement ainsi qu'en cas d'incident ou d'accident. En particulier :

- La conception des internes inférieurs permet de maintenir un transfert efficace entre les crayons de combustibles et le fluide primaire.
- Le système de distribution de débit, situé au-dessous de la plaque support du cœur assure une répartition uniforme du débit à l'entrée du cœur et empêche la formation de tourbillons à l'intérieur du plénum inférieur.
- Le réflecteur lourd, composant massif, remplace le cloisonnement autour du cœur dans ses fonctions de refroidissement du cœur par le contrôle d'une partie du bypass ainsi que dans ses fonctions de support latéral du cœur.
- Pour les cas d'accident par perte de réfrigérant primaire les plus pénalisants, le dimensionnement des internes inférieurs de la cuve :
 - à une onde de décompression se propageant à l'intérieur de la cuve,
 - aux efforts hydrodynamiques résultant des variations locales des caractéristiques du fluide,permet de maintenir la géométrie du cœur et d'assurer le refroidissement de celui-ci,
- La répartition du débit de fluide primaire dans la cuve, le bypass cœur, le comportement hydraulique et le comportement vibratoire des internes inférieurs de la cuve sous écoulement ont été validés par des essais sur maquette (voir [§ 4.5.](#) et [§ 5.5.](#) de la présente section et paragraphe 2.1 du sous-chapitre 1.5),
- le réflecteur lourd a fait l'objet de plusieurs essais sur maquette (voir paragraphe 2.3 du sous-chapitre 1.5) lors de sa conception afin de :
 - vérifier la distribution de débit à l'entrée du réflecteur lourd,
 - caractériser le comportement vibratoire sous écoulement des tirants du réflecteur lourd.

6.2.3. Confinement des substances radioactives

Les internes inférieurs sont conçus de sorte que leur niveau vibratoire en fonctionnement normal soit suffisamment bas pour empêcher toute contrainte inacceptable sur les assemblages de combustible (effort de contact entre brides des internes et cuve).

La conception hydraulique des internes inférieurs assure, en fonctionnement normal, l'absence de crise d'ébullition, ce qui garantit l'intégrité de la gaine des crayons combustible (première barrière).

Les internes inférieurs limitent la fluence sur la cuve (deuxième barrière) et contribue donc à son intégrité.

Il est vérifié que les chargements induits par un APRP, par le séisme de dimensionnement ou par le cumul des deux ne conduisent pas à des dommages inacceptables pour le cœur (chute du cœur, écrasement vertical ou horizontal).

6.3. CONFORMITÉ AUX EXIGENCES DE CONCEPTION

6.3.1. Classement de sûreté

Ces équipements n'ont pas de classement de sûreté.

6.3.2. Classement mécanique

Ces équipements répondent aux exigences suivantes :

- Leur conception dérive de la méthodologie du RCC-M Volume G car en tant qu'éléments de support du cœur, ils participent à la sûreté en fonctionnement.
- Ils sont réalisés et contrôlés selon les exigences du RCC-M.
- Ils font l'objet d'un programme d'Assurance Qualité au stade de leur conception, à la fabrication et au montage.

6.3.3. Classement sismique

Le dimensionnement mécanique des internes inférieurs de la cuve tient compte des chargements induits par le séisme de dimensionnement cumulés au transitoire enveloppe de fonctionnement.

6.3.4. Agressions

6.3.4.1. Agressions internes

La démonstration de la robustesse de l'installation aux agressions internes relève du sous-chapitre 3.4.

6.3.4.2. Agressions externes

La démonstration de la robustesse de l'installation aux agressions externes relève du sous-chapitre 3.3.

6.4. ESSAIS

6.4.1. Essais de démarrage

Des essais préliminaires de vibrations des internes inférieurs sous écoulement sont prévus avant le premier chargement du cœur. Les essais sont réalisés avec des conditions de pression et de températures caractéristiques d'états stables allant de l'arrêt à froid au fonctionnement nominal (voir section 3.6.4).

6.4.2. Essais périodiques et inspection en service

Les internes inférieurs de cuve sont conçus pour permettre une inspection périodique visuelle. Ils peuvent être entièrement retirés de la cuve permettant ainsi d'inspecter la paroi interne de la cuve.

7. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT

La fabrication et le contrôle des composants des internes inférieurs FA3 répond aux exigences du RCC-M Volume G, ainsi qu'aux exigences supplémentaires prévues dans les spécifications d'équipement, telles que : taux de cobalt des pièces ne devant pas excéder 0,05%, test de corrosion intergranulaire pour les aciers inoxydables austénitiques, etc.

Les matériaux utilisés pour la fabrication des équipements internes inférieurs FA3 sont essentiellement :

- l'acier type A508 pour les tôles et la plupart des pièces forgées,
- l'acier type A508 pour le fond support de cœur,
- les aciers A508 pour les vis et organes filetés, dans le but d'obtenir des caractéristiques mécaniques plus élevées que celles des nuances précédentes.

Les approvisionnements font l'objet de recette à la coulée et sur échantillon, de contrôle de la composition chimique et des caractéristiques mécaniques.

Les équipements internes inférieurs sont essentiellement constitués à partir de tôles et de pièces forgées, dont les principales pour les internes inférieurs FA3 sont l'enveloppe de cœur, les galettes du réflecteur lourd et le fond support.

Ces pièces sont ensuite usinées en plusieurs passes pour atteindre les dimensions et les formes retenues lors de la conception de l'équipement. 0

0

Les joints soudés sont contrôlés par radiographie (lorsque prévu par le RCC-M ou la spécification d'équipement) et ressouage. Les exigences associées aux joints soudés sont l'objet du Volume IV du RCC-M et concernent notamment les qualifications des modes opératoires de soudage, soudeurs, ateliers, les techniques de soudages ou associées au soudage, les soudures de production.

Toutes les pièces sont identifiées par marquage selon les prescriptions du RCC-M.

Toute déviation par rapport aux prescriptions des spécifications fait l'objet d'une fiche d'anomalie et conduit à un examen des conséquences possibles avant acceptation ou rebut.

Un Rapport de Fin de Fabrication (RFF) réunit, sous forme de rapports et procès-verbaux, les résultats d'essais et de contrôle :

- d'analyse de composition chimique,
- d'essais mécaniques,
- d'examen d'aspect,
- des contrôles par ressouage et ultrasons,
- des tests de corrosion intergranulaire,
- des enregistrements des traitements thermiques,
- des contrôles radiographiques,
- des contrôles dimensionnels.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.3

PAGE 20/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Un guide d'exploitation et d'entretien est remis à l'exploitant.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.3

PAGE 21/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.3.3.1 MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS

□

**TAB-5.3.3.2 PERTES DE CHARGE DANS LES
ÉQUIPEMENT INTERNES INFÉRIEURS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.3

PAGE 23/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.3.3.3 DÉBITS DE BYPASS MAXIMAUX DANS LA
CUVE**

□

FIG-5.3.3.1 ENSEMBLE CUVE

□

FIG-5.3.3.2 SECTION TRANSVERSALE

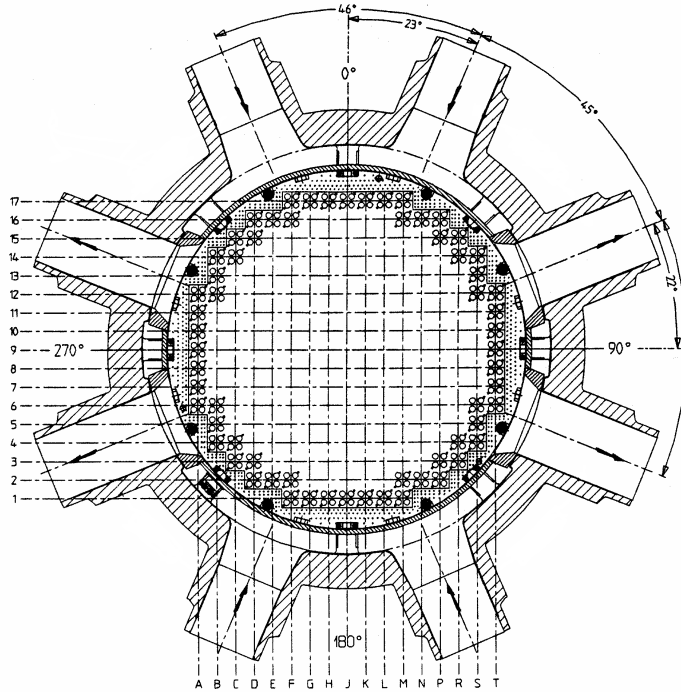
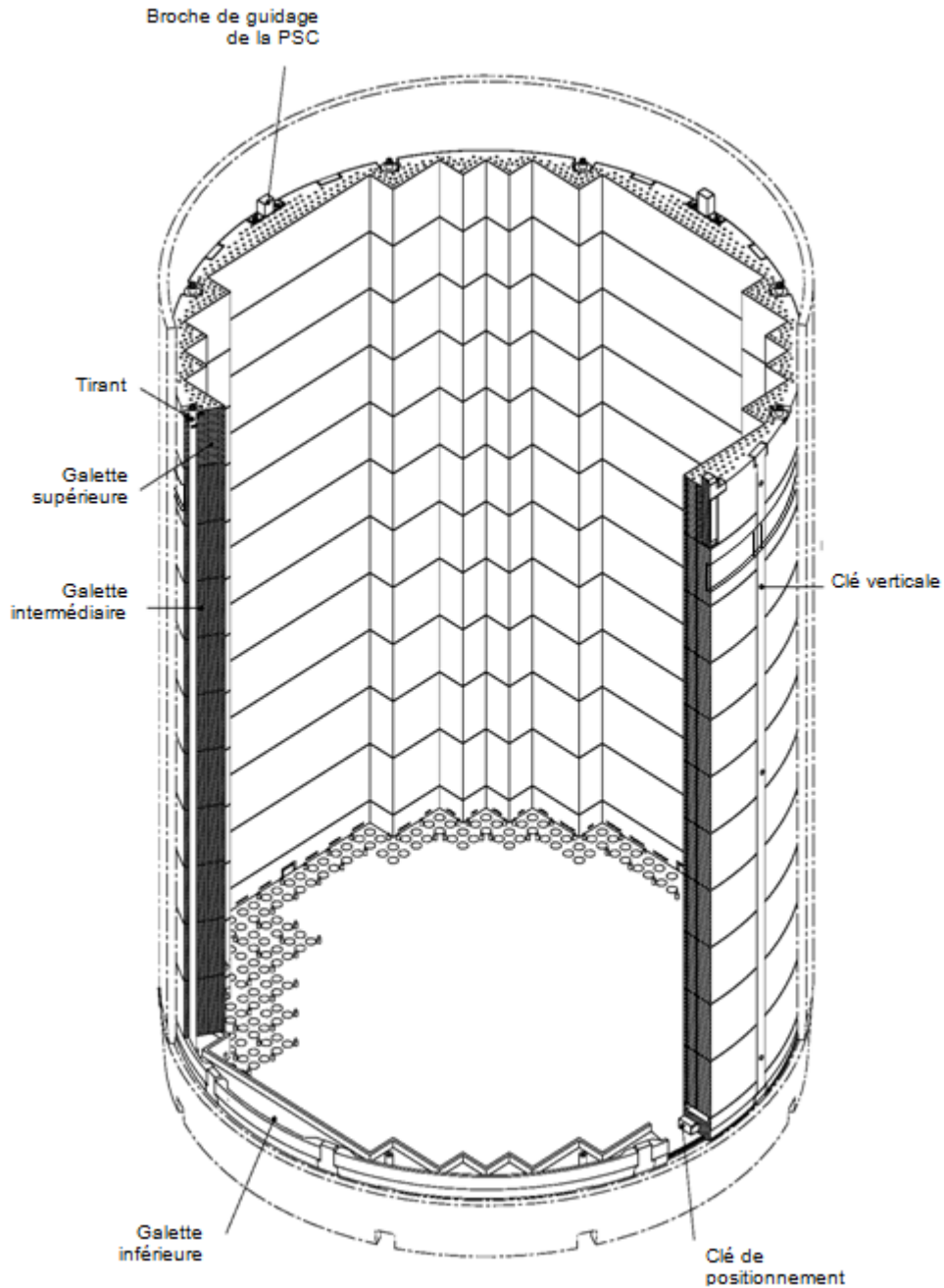


FIG-5.3.3.3 ÉQUIPEMENTS INTERNES INFÉRIEURS

□

FIG-5.3.3.4 RÉFLECTEUR LOURD



SOMMAIRE

.5.3.4 MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES DE CONTRÔLE	4
0. EXIGENCES DE SÛRETÉ	4
0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ	4
0.2. CRITÈRES FONCTIONNELS	4
0.2.1. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ	4
0.2.2. ÉVACUATION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE	4
0.2.3. CONFINEMENT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES	4
0.3. EXIGENCES RELATIVES À LA CONCEPTION	4
0.3.1. EXIGENCES ISSUES DU CLASSEMENT DE SÛRETÉ	4
0.3.2. AUTRES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	5
0.3.3. AGRESSIONS	5
0.4. ESSAIS	6
1. GÉNÉRALITÉS	6
2. DESCRIPTION	6
2.1. DESCRIPTION DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE ET DES	
SUPPORTS	6
2.1.1. ENCEINTE SOUS PRESSION ET LIAISON À BRIDES	6
2.1.2. MÉCANISME DE LEVÉE	7
2.1.3. TIGE DE COMMANDE	7
2.1.4. ENSEMBLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE	7
2.1.5. LIMITEUR DE DÉPLACEMENT	7
2.2. DESCRIPTION DE LA CONCEPTION ÉLECTRIQUE	8
2.2.1. POLARITÉ DES CIRCUITS MAGNÉTIQUES	8
2.2.2. ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR	8
2.3. DESCRIPTION FONCTIONNELLE	8
2.4. INDICATEURS DE POSITION	9
2.4.1. INDICATEUR DE POSITION NUMÉRIQUE	9
2.4.2. INDICATEUR DE POSITION ANALOGIQUE	9
2.4.3. INDICATEURS DE FIN DE COURSE	9
2.5. SCHÉMA D'ENSEMBLE	9
3. BASE DE CONCEPTION	9

3.1. GÉNÉRALITÉS	9
3.2. ENCEINTE SOUS PRESSION	10
3.3. EXIGENCES FONCTIONNELLES	10
3.4. DONNÉES DE CONCEPTION	10
3.4.1. MÉCANISME	10
3.4.2. ENSEMBLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE	11
3.4.3. BOBINES D'INDICATEUR DE POSITION	12
4. MATÉRIAUX	12
5. ESSAIS PRÉLIMINAIRES	12
6. INSPECTABILITÉ EN SERVICE ET REMPLAÇABILITÉ	12
7. DURÉE DE VIE	13
8. INTERFACES DU MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES . . .	13

FIGURES :

FIG–5.3.4.1 SCHEMA D'ENSEMBLE DU MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES	15
FIG–5.3.4.2 ENCEINTE SOUS PRESSION AVEC LIAISON À BRIDES ET LIMITEUR DE DÉPLACEMENT	16
FIG–5.3.4.3 ENSEMBLE MÉCANISME DE LEVÉE	17
FIG–5.3.4.4 TIGE DE COMMANDE.....	18
FIG–5.3.4.5 LOGEMENT DE BOBINE.....	19

.5.3.4 MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES DE CONTRÔLE

0. EXIGENCES DE SÛRETÉ

0.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ

Le mécanisme de commande des grappes doit assurer les fonctions de sûreté suivantes :

- Contrôle de la réactivité lors de l'arrêt automatique du réacteur,
- Confinement des substances radioactives (par l'intégrité de l'enceinte sous pression du mécanisme de commande des grappes).

0.2. CRITÈRES FONCTIONNELS

0.2.1. Maîtrise de la réactivité

Le mécanisme de commande des grappes participe à la maîtrise de la réactivité par la chute de l'ensemble tige de commande / grappe de contrôle.

La chute de chaque grappe de contrôle doit être garantie dans toutes les situations accidentelles (PCC-2 à 4 et RRC-A et Accident Grave).

De plus, les indicateurs de position de tige doivent alerter en cas de ligne de commande désalignée et indiquer les limites d'insertion de chaque groupe de grappes de contrôle.

0.2.2. Évacuation de la puissance résiduelle

Le mécanisme de commande des grappes ne contribue pas à l'accomplissement de cette fonction de sûreté.

0.2.3. Confinement des substances radioactives

L'enceinte sous pression du mécanisme de commande des grappes qui fait partie de la deuxième barrière doit conserver son intégrité dans toutes les situations de fonctionnement de la tranche.

0.3. EXIGENCES RELATIVES À LA CONCEPTION

0.3.1. Exigences issues du classement de sûreté

0.3.1.1. Classements de sûreté

Les parties du mécanisme de commande des grappes jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

0.3.1.2. Critère de défaillance unique (active et passive)

L'arrêt automatique du réacteur doit être étudié en supposant que la grappe de contrôle présentant l'antiréactivité maximale soit bloquée en position haute (totalement extraite).

0.3.1.3. Alimentations électriques de secours

Non applicable

0.3.1.4. Qualification aux conditions de fonctionnement

Non applicable

0.3.1.5. Classements mécanique, électrique, contrôle-commande

Classement mécanique

L'enceinte sous pression du mécanisme de commande des grappes doit être classée M1, comme faisant partie de l'enceinte du Circuit Primaire Principal du Réacteur, selon la classification présentée dans le sous-chapitre 3.2. Donc le RCC-M, niveau 1, doit être appliqué à la conception de l'enceinte sous pression.

Certains matériaux de l'enceinte sous pression du mécanisme de commande des grappes ne sont pas approvisionnés selon les exigences liées aux matériels de niveau 1 du RCC-M (voir section 3.6.2). Des spécifications d'approvisionnement et de recette spécifiques sont donc élaborées pour ces matériaux afin de garantir le respect d'exigences de qualité couvrant celles liées aux matériels de niveau 1 du RCC-M.

Classement électrique

Les ensembles électromagnétiques des mécanismes ne sont pas classés (NC).

Classement contrôle commande

Les bobines du système de contrôle de position des tiges de commande sont classées E1A.

0.3.1.6. Classement sismique

Le mécanisme de commande des grappes est classé sismique, selon la classification présentée dans le sous-chapitre 3.2.

L'intégrité, la capacité fonctionnelle et l'opérabilité de l'enceinte sous pression pendant et après un séisme sont exigées. Le désengagement de la tige de commande par le mécanisme de levée (arrêt automatique du réacteur) doit être assuré durant et après un séisme (capacité fonctionnelle et opérabilité, sauf pour la fonction pas-à-pas qui n'est pas requise dans ce cas). Le respect des exigences liées aux temps de chutes de grappes doit également être garanti.

0.3.2. Autres exigences réglementaires

Textes officiels, lois, arrêtés, décrets

Deux documents s'appliquent au mécanisme de commande des grappes :

- L'annexe 1 de l'Arrêté ESPN du 12/12/2005,
- Les "Options de Sûreté du projet de réacteur EPR" (DSIN lettre 079/2000).

Règles Fondamentales de Sûreté

Les Règles Fondamentales de Sûreté applicables sont présentées au sous-chapitre 1.7.

Directives Techniques

Les exigences spécifiques au mécanisme de commande des grappes sont présentées dans les sections B2.3.1 (voir sous-chapitre 1.7).

0.3.3. Agressions

Agressions internes

Le mécanisme de commande des grappes doit être protégé vis-à-vis des conséquences des agressions internes si sa perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.4.

Agressions externes

Le mécanisme de commande des grappes doit être protégé vis-à-vis des conséquences des agressions externes si sa perte remet en cause l'atteinte des objectifs de sûreté du sous-chapitre 3.3.

0.4. ESSAIS

Après installation sur le couvercle de cuve du réacteur, le fonctionnement de chaque mécanisme de commande des grappes doit être vérifié. Ces contrôles doivent inclure des mesures de temps de chute.

L'examen visuel des tiges de commande doit aussi être effectué lors du rechargement en combustible.

Pour démontrer que les tiges non actionnées par le Système de Limitation, de Surveillance et de Contrôle du Réacteur (RCSL) sont en état de l'être, la vérification partielle de leur déplacement doit être effectuée pendant le fonctionnement du réacteur.

1. GÉNÉRALITÉS

Le rôle des mécanismes de commande des grappes est d'insérer ou d'extraire les 89 grappes de contrôle sur une hauteur égale à celle du cœur et de les maintenir dans n'importe quelle position intermédiaire choisie. Les positions des grappes de contrôle dans le cœur sont suivies au moyen d'indicateurs de position numérique et analogique. Comme autre rôle principal, le mécanisme de commande des grappes doit libérer la grappe de contrôle dans un temps très court après l'interruption du courant dans les bobines (arrêt automatique du réacteur).

Le mécanisme de commande des grappes complet est composé :

- de l'enceinte sous pression avec sa liaison à brides,
- de l'ensemble mécanisme de levée,
- de la tige de commande,
- du logement de bobine (qui consiste en : ensemble électromagnétique, indicateur de position et carter en acier),
- du limiteur de déplacement.

Chaque mécanisme de commande des grappes est une unité indépendante qui peut être montée ou retirée indépendamment des autres.

2. DESCRIPTION

2.1. DESCRIPTION DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE ET DES SUPPORTS

Voir schéma d'ensemble, figure [FIG-5.3.4.1](#).

2.1.1. Enceinte sous pression et liaison à brides

Voir figure [FIG-5.3.4.2](#).

Chaque enceinte sous pression est composée de la partie inférieure (carter du mécanisme) et de la partie supérieure (gaine de la tige de commande). Elle forme une extension en forme de doigt de gant de l'enceinte sous pression du réacteur et est fixée sur le couvercle de cuve par l'intermédiaire d'un adaptateur pour mécanisme de commande de grappe.

Le carter de mécanisme contient le mécanisme de levée. La gaine de tige de commande fournit le volume pour permettre le mouvement de la tige de commande lors de son déplacement ascendant, en cas de retrait du cœur.

La liaison à brides est équipée de deux joints coniques, chacun conçu pour résister à la pression de service.

Grâce à la présence des deux joints séparés, l'étanchéité de la liaison à brides peut être testée aussitôt après montage. La ligne de test est fermée au terme de l'essai d'étanchéité.

La conception du mécanisme permet de ne pas prévoir de ventilation de refroidissement forcé.


2.1.2. Mécanisme de levée

Voir figure [FIG-5.3.4.3](#).

Le mécanisme de levée est placé dans son carter, partie inférieure de l'enceinte sous pression. Il convertit les forces magnétiques produites par les bobines de manœuvre à l'extérieur de l'enceinte sous pression en déplacements de translation de la ligne de commande. Pour l'essentiel, il est composé de trois électroaimants qui engagent alternativement deux grappins (groupes de cliquets) dans les cannelures de la tige de commande, la maintenant ainsi en position ou la déplaçant vers le haut ou vers le bas. Chaque pas vers le haut ou vers le bas correspond à une hauteur de 10 mm.

2.1.3. Tige de commande

Voir figure [FIG-5.3.4.4](#).

La tige de commande est l'élément de liaison entre le mécanisme de levée et la grappe de contrôle. Elle est composée d'une tige creuse qui est cannelée transversalement  , dans sa section supérieure, sur la longueur nécessaire. Elle est munie d'un dispositif d'accouplement mécanique à son extrémité inférieure.

2.1.4. Ensemble électromagnétique

Voir figure [FIG-5.3.4.5](#).

Le logement de bobine est divisé en trois parties. L'ensemble électromagnétique est composé d'une bobine de levée, d'une bobine de transfert et d'une bobine de maintien. Cet ensemble est associé à l'indicateur de position composé de bobines de détection de fin de course et d'une bobine d'indicateur de position analogique qui contrôle la position courante de la tige de commande dans sa gaine. L'indicateur de position est intégré à l'enveloppe métallique de telle sorte qu'un effet de cheminée engendre de la convection naturelle. L'ensemble électromagnétique, l'indicateur de position et l'enveloppe métallique forment un seul et même ensemble, qui peut aisément être séparé de l'enceinte sous pression. Sur l'extrémité supérieure de cet ensemble sont montés un premier connecteur qui assure l'alimentation en courant continu de l'ensemble électromagnétique, et un second connecteur chargé de la transmission des signaux en provenance des bobines de l'indicateur de position.

2.1.5. Limiteur de déplacement

Voir figure [FIG-5.3.4.2](#).

Le limiteur de déplacement situé au sommet de chaque enceinte sous pression est maintenu, dans le plan horizontal, par une structure reliée à la paroi de la cavité du réacteur afin de restreindre son mouvement en cas de vibrations ou d'agression externe.

Le limiteur de déplacement est nécessaire pour restreindre la flèche dynamique de la partie supérieure du mécanisme de commande de grappe au cours d'un séisme.

2.2. DESCRIPTION DE LA CONCEPTION ÉLECTRIQUE


2.2.1. Polarité des circuits magnétiques

La polarité de l'ensemble des bobines est vérifiée au cours de leur fabrication et des essais, afin de s'assurer de leur bon fonctionnement durant l'exploitation.

2.2.2. Arrêt automatique du réacteur

Au signal d'arrêt automatique du réacteur, toutes les bobines de commande sont désactivées, les cliquets se rétractent et se désengagent des cannelures de la tige ; l'ensemble mobile chute dans le cœur du réacteur sous l'action de la gravité.

2.3. DESCRIPTION FONCTIONNELLE

Le schéma séquentiel présenté ci-dessous décrit la montée d'un pas d'une grappe  à partir de la position de repos dans laquelle seule la bobine de transfert est activée. L'ensemble est contrôlé par un programmeur temporel qui contrôle l'alimentation des bobines selon la séquence spécifique qui suit.

Séquence d'activation des bobines		Mouvement des grappins
1	Bobine de transfert activée	Position de repos : tige tenue par le grappin mobile (cliquets de transfert).
2	Activation de la bobine de levée	L'électroaimant de levée fait monter la tige d'un pas par l'intermédiaire des cliquets du grappin mobile.
3 – 4	Activation de la bobine de maintien	Les cliquets du grappin de maintien s'engagent dans une cannelure de la tige puis s'élèvent afin de reprendre le poids de la ligne de commande.
5	Désactivation de la bobine de transfert	Le grappin mobile désengage les cliquets du grappin de transfert de la cannelure de la tige.
6	Désactivation de la bobine de levée	Le grappin mobile chute pour revenir à sa position initiale.
7	Activation de la bobine de transfert	Les cliquets de transfert s'engagent dans la cannelure inférieure.
8 – 9	Désactivation de la bobine de maintien	Le grappin fixe descend, transférant ainsi la charge au grappin mobile, puis retire les cliquets de maintien de la cannelure de la tige
1	Bobine de transfert activée	Position de repos : tige sur le grappin mobile.
1 à 9		Montée de la ligne de commande d'un pas.

Le cycle est répété autant de fois qu'il est nécessaire pour la réalisation du nombre de pas désiré. La tige de commande peut être réintroduite dans le cœur au moyen de la séquence inverse.

En cas d'interruption de l'alimentation électrique des bobines, les pôles inférieurs des électroaimants chutent, entraînant la rétractation des cliquets. Ceux-ci libèrent la ligne de commande qui chute à son tour dans le cœur par gravité.

2.4. INDICATEURS DE POSITION

Il est nécessaire de posséder un équipement permettant de déterminer la position de la grappe à tout moment. Il existe ainsi un système numérique, un système analogique et un système de détection de fin de course pour déterminer la position de la grappe.

En fonctionnement, la position fournie par le système numérique est utilisée par le système de régulation et de surveillance du réacteur. Le système de protection n'utilise que l'indication de position fournie par le système analogique.

2.4.1. Indicateur de position numérique

L'indicateur de position numérique figure au tableau de la salle de commande. □ Lors du mouvement de la tige, l'affichage du compteur est modifié au moyen d'impulsions correspondant au nombre de pas d'insertion et de retrait demandés par la commande de la bobine de levée. La position limite basse □ est automatiquement affichée en cas de chute de la ligne de commande et sert également de position de référence.

La mesure analogique de position de la tige fournit une information indépendante afin de vérifier le mouvement correct de la grappe de contrôle. L'information analogique de position de la tige est en outre la seule information pertinente pour l'utilisation par le système de protection du réacteur.

2.4.2. Indicateur de position analogique

Un système de mesure de position analogique composé de deux bobines (enroulements primaire et secondaire) est placé au-dessus de la partie supérieure de l'enceinte sous pression. L'activation de l'enroulement primaire est effectuée au moyen d'un courant d'excitation imposé. Quand la tige de commande en acier martensitique est insérée, la tension secondaire croît et peut être utilisée comme indication de la position de la grappe. Du point de vue électrique, ces bobines d'indicateur de position constituent un transformateur à air.

Le système de contrôle de position analogique est très fiable. La technologie numérique est utilisée afin d'équilibrer le signal par rapport aux variations de température le long de la tige. □

2.4.3. Indicateurs de fin de course

Des bobines supplémentaires sont installées pour indiquer les fins de course, haute et basse, de la tige et permettre ainsi leur détection plus précise. En cas de défaillance du compteur numérique, seules les bobines des indicateurs de fin de course sont disponibles.

A froid, la mesure à utiliser de position en fin de course basse doit être celle fournie par l'indicateur analogique de position.

D'autres détails figurent dans la section 7.5.4.

2.5. SCHÉMA D'ENSEMBLE

Le schéma d'ensemble du mécanisme de commande des grappes est présenté en figure [FIG-5.3.4.1](#).

3. BASE DE CONCEPTION

3.1. GÉNÉRALITÉS

La conception mécanique (statique et dynamique) du mécanisme de commande des grappes satisfait aux exigences imposées par :

- le fonctionnement recherché,
- la tenue en situations de fonctionnement,
- le choix et à l'utilisation des matériaux,
- l'absence de maintenance spécifique,

avec prise en compte de l'interaction éventuelle entre ces différentes exigences.

Les paramètres fondamentaux de conception du mécanisme de commande des grappes sont :

- du point de vue fonctionnement :
 - pression et température,
 - valeur du pas,
 - course totale,
 - masse de la tige de commande et de la grappe,
 - fréquence de déplacement,
 - temps de chute,
- du point de vue de l'intégrité et de la chute de grappe (enceinte sous pression) :
 - classification de l'enceinte sous pression : RCC-M, niveau 1 (voir section 3.6.2),
 - pression,
 - température,
 - vibrations, efforts hydrauliques,
 - évènements extérieurs (par exemple, conditions sismiques).

Pour la fonction attendue du mécanisme de commande des grappes en cas d'arrêt du réacteur, la sûreté en cas de défaillance est obtenue par utilisation de la gravité (aucun composant actif).

3.2. ENCEINTE SOUS PRESSION

La conception de l'enceinte sous pression est conforme au RCC-M (voir section 3.6.2) pour le niveau 1.

3.3. EXIGENCES FONCTIONNELLES

□

Le mécanisme de commande des grappes est conçu de telle façon que la grappe est relâchée en cas d'interruption de l'alimentation électrique (principe de sûreté intégrée).

□

3.4. DONNÉES DE CONCEPTION

3.4.1. Mécanisme

Type de mécanisme de commande des grappes	Vérin électromagnétique
Type de montage	En position verticale, sur liaison à brides
Quantité	89

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

Masse du mécanisme de commande des grappes
avec tige (estimation) 456 kg

Masse de la tige de commande (estimation) 50 kg

□

□

□

□

Pression de conception (abs) 176 bar

Température de conception 351°C

Pression de fonctionnement (abs) 155 bar

Température de fonctionnement (carter) ≤ 250°C, selon les circonstances

3.4.2. Ensemble électromagnétique

Tension nominale de bobine 220 V CC

Courant de bobine :

□

□

□

□

□

□

La valeur de courant « nom. » est la valeur d'intensité pendant le fonctionnement de la bobine de transfert. Le reste du temps, l'intensité est réduite à sa valeur « mod. ».

3.4.3. Bobines d'indicateur de position

Alimentation électrique pour le courant d'excitation 48 V CC avec modulation

□

□

Fréquence 31 Hz

Mode de refroidissement convection naturelle

4. MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés dans la fabrication du mécanisme de commande des grappes doivent respecter les exigences de qualité dans les domaines suivants :

- Qualification (par exemple, expérience du fabricant de matière, références),
- Aptitude à l'emploi (par exemple, soudage, formage à chaud ou à froid),
- Composition chimique (par exemple, teneur en carbone, éléments d'alliage, éléments associés ou traces),
- Propriétés mécaniques (par exemple, ténacité, résistance à la traction à l'ambiante et en température, propriétés en fatigue),
- Résistance aux mécanismes de corrosion propres à l'application envisagée,
- Réduction du niveau d'irradiation dans la tranche (par exemple, teneur en Co),
- Propriétés magnétiques.

5. ESSAIS PRÉLIMINAIRES

Les mécanismes de commande des grappes sont soumis à un test de fonctionnement sur banc d'essai. Les tiges de commande effectuent un certain nombre de mouvements, en mode pas-à-pas. Des essais de chute dans lesquels la grappe est simulée par un poids mort sont aussi exécutés.

Après installation sur le couvercle de cuve, le fonctionnement de chaque mécanisme de commande des grappes est vérifié de nouveau. □

6. INSPECTABILITÉ EN SERVICE ET REMPLAÇABILITÉ

Une série d'essais peut être exécutée pendant le fonctionnement et/ou les arrêts de tranche afin d'établir un diagnostic du mécanisme de commande des grappes. □

L'état interne du mécanisme de commande des grappes examiné peut être déduit des résultats ainsi obtenus. Si l'on détecte des signes d'usure accélérée, une action réparatrice peut être rapidement menée. Elle peut aller du simple remplacement de certaines parties au changement d'un ensemble complet.

Pendant le rechargement en combustible, l'examen visuel des tiges de commande est aussi prévu. L'étanchéité des liaisons à brides peut aussi être testée □.

L'enceinte sous pression des mécanismes est en outre soumise aux épreuves hydrauliques périodiques du circuit primaire.

Le contrôle par courants de Foucault de la surface interne de l'enceinte sous pression, au-dessus du mécanisme de levée, est aussi réalisable sans démontage supplémentaire.

Les bobines sont facilement échangeables (si nécessaire) et remplaçables. Leur démontage permet l'examen non destructif, de l'extérieur, des soudures de l'enceinte sous pression.

En tout état de cause, le mécanisme entier comme toutes ses parties peuvent être facilement remplacés.

7. DURÉE DE VIE

La durée de vie des parties mécaniques est limitée par l'usure et la fatigue des parties mobiles et le paramètre principal est le nombre de pas exécutés par le mécanisme de levée.

Le nombre maximal de pas que le groupe le plus sollicité devrait exécuter pendant la durée de vie d'une tranche EPR est fixé à 10^7 . Il a été démontré durant les essais sur prototype que les mécanismes de commande des grappes de contrôle étaient en mesure de réaliser ce nombre de pas. Le montage d'essai était représentatif des équipements EPR, des conditions de fonctionnement et tout particulièrement des grappes de contrôle et du fluide environnant.

S'il devait arriver que le fonctionnement réel d'une tranche EPR mène à une situation où le mécanisme de commande des grappes le plus sollicité soit en passe d'excéder ses capacités démontrées, des mesures préventives seraient prises en temps utile, comme la permutation ou le remplacement de ce mécanisme de commande des grappes, facilement réalisable de par la conception avec liaison à brides.

D'autres phénomènes de dégradation des parties mécaniques sont exclus par conception ou du fait du choix des conditions de fonctionnement :

- Fragilité sous irradiation : sur la base des niveaux de radiation évalués au cours de la conception, le vieillissement ou la baisse de la ténacité des aciers utilisés pour le mécanisme de commande des grappes ne sont pas à redouter,
- Vieillissement thermique : en fonctionnement, à l'état permanent, la température du matériau martensitique utilisé pour l'enceinte sous pression au niveau du carter est comprise entre 160 et 250°C. Le vieillissement thermique n'est pas à craindre dans ces conditions,
- Corrosion : les matériaux sont les mêmes que ceux utilisés sur les tranches en fonctionnement et l'on sait qu'ils présentent une bonne résistance à la corrosion dans les conditions chimiques des REP.

8. INTERFACES DU MÉCANISME DE COMMANDE DES GRAPPES

Les équipements suivants sont concernés :

- La liaison adaptateur de couvercle de cuve/mécanisme de commande des grappes avec ses joints et la manchette thermique,
- Les équipements connexes du couvercle, notamment la passerelle à câbles, les supports sismiques, la cavité réacteur et les blocs de connecteurs,
- Les dispositifs de test d'étanchéité du raccord à bride,
- Le système de ventilation (cuve),
- Les équipements électriques et de contrôle-commande,
- Le système d'accouplement tige de commande/grappe,
- Le guide de grappe,
- Le pont auxiliaire avec l'outil de connexion / déconnexion pour l'accouplement / désaccouplement de la tige de commande de la grappe de contrôle,
- Le pont polaire (manutention des composants des mécanismes de commande des grappes de contrôle),



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 3.4

PAGE 14/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

- L'interface entre le limiteur de déplacement et la croix anti-éjection des équipements du couvercle de cuve.

**FIG-5.3.4.1 SCHEMA D'ENSEMBLE DU MÉCANISME DE
COMMANDE DES GRAPPES**



**FIG-5.3.4.2 ENCEINTE SOUS PRESSION AVEC LIAISON À BRIDES
ET LIMITEUR DE DÉPLACEMENT**

FIG-5.3.4.3 ENSEMBLE MÉCANISME DE LEVÉE

□

FIG-5.3.4.4 TIGE DE COMMANDE

□

FIG-5.3.4.5 LOGEMENT DE BOBINE

□

5.4 DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS ET SOUS-SYSTÈMES

5.4.1 GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES

5.4.2 GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

5.4.3 TUYAUTERIES PRIMAIRES

5.4.4 PRESSURISEUR

5.4.5 CIRCUITS DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

5.4.6 ROBINETS

5.4.7 SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

5.4.8 VANNES SPÉCIFIQUES POUR LA DÉPRESSURISATION EN RRC-A ET EN ACCIDENT GRAVE

5.4.9 SUPPORTS DES COMPOSANTS PRIMAIRES

SOMMAIRE

.5.4.1 GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES	3
1. DESCRIPTION DES GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES	3
1.1. CORPS DE LA POMPE PRIMAIRE	4
1.2. SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ D'ARBRE	4
1.3. INTERNES DE LA POMPE PRIMAIRE	6
1.4. MOTEUR ET SUPPORT MOTEUR	6
1.5. INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE	7
2. CLASSEMENT DE SURETE	8
3. BASES DE CONCEPTION	8
4. ÉVALUATION DE SÛRETÉ DU SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ	10
5. INTÉGRITÉ MÉCANIQUE DANS DES CONDITIONS ACCIDENTELLES	11
6. MATÉRIAUX	12
6.1. VOLUTE	12
6.2. LOGEMENTS DE JOINTS ET BRIDE DE BARRIÈRE THERMIQUE	12
6.3. BRIDES PRINCIPALES	12
6.4. ARBRES DE POMPE	12
6.5. GOUJONNERIE DE VOLUTE	12
6.6. VOLANT	13
7. FABRICATION ET ESSAIS	13
7.1. VOLUTE - ENSEMBLE	13
7.2. VOLANT D'INERTIE	13
7.3. ÉQUILIBRAGE DYNAMIQUE DES PARTIES TOURNANTES . . .	13
7.4. ESSAIS EFFECTUÉS EN USINE SUR CHAQUE GROUPE	
MOTOPOMPE	13
7.5. ESSAIS PARTICULIERS DU GMPP	14
7.6. ESSAIS DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR EN USINE	14
8. ÉPREUVE HYDRAULIQUE EN USINE	14
9. MONTAGE SUR LE SITE	14
10. INSTRUCTIONS POUR L'EXPLOITATION	15

TABLEAUX :

TAB-5.4.1.1	PARAMÈTRES DE CONCEPTION DES GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES	16
TAB-5.4.1.2	GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES – MATÉRIAUX	17
TAB-5.4.1.3	GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES – LISTE DES COMPOSANTS DE L'ENCEINTE SOUS PRESSION.....	18

FIGURES :

FIG-5.4.1.1	GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES – ASSEMBLAGE GÉNÉRAL	19
FIG-5.4.1.2	PLAN DE COUPE DE LA POMPE PRIMAIRE	20
FIG-5.4.1.3	SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ D'ARBRE	21
FIG-5.4.1.4	JOINT N°3 ET DEA	22

.5.4.1 GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES



1. DESCRIPTION DES GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES

L'enceinte sous pression du GMPP est un équipement sous pression nucléaire ESPN de niveau N1. La liste détaillée des composants du groupe motopompe primaire de niveau N1 est présentée dans le tableau [TAB-5.4.1.3](#).

La conception des groupes motopompes primaires du réacteur EPR est basée sur le REX exploitant..


Le plan d'ensemble figure en [FIG-5.4.1.1](#), la vue en coupe figure en [FIG-5.4.1.2](#).

Chaque groupe motopompe primaire consiste en une pompe verticale mono-étagée hélico-centrifuge, conçue pour pomper des volumes importants de réfrigérant primaire à température et pression élevées.

Il comporte trois éléments majeurs : la pompe, les joints d'arbre, et le moteur.

La cellule hydraulique est composée de la volute, d'une roue, d'un diffuseur et d'un guide d'eau. Les autres éléments de la pompe sont l'arbre, le palier principal hydrostatique et son palier auxiliaire hydrodynamique (bague de portance), la bride de barrière thermique (BT) et l'échangeur de barrière thermique, le couvercle de BT doté d'écrans thermiques, la bride principale, l'accouplement, l'arbre intermédiaire et le support moteur.

Le système d'étanchéité de la ligne d'arbre est constitué de trois joints disposés en série et d'un dispositif d'étanchéité à l'arrêt. Le premier joint d'arbre est un joint à fuite contrôlée, à film d'eau ; les deuxième et troisième sont des joints à surfaces frottantes. Le dispositif d'étanchéité à l'arrêt (DEA) crée une surface d'étanchéité avec un contact métal sur métal assurant l'étanchéité de l'arbre une fois la pompe arrêtée et toutes les lignes de fuites fermées, en cas de perte de refroidissement des joints d'arbre (voir [§ 4.](#)).

Le moteur est un moteur à induction à cage d'écurie, abrité des projections d'eau, avec un arbre plein, une butée double  lubrifiée à l'huile, des paliers de guidage radial supérieur et inférieur à film d'huile, de type hydrodynamique, et un volant d'inertie.

Toutes les pièces du groupe motopompe primaire peuvent être remplacées, à l'exception de la volute, soudée à la boucle primaire (la boucle primaire est décrite à la section 5.4.3).

Le groupe motopompe primaire est supporté verticalement par trois béquilles fixées aux trois pattes de la volute, et horizontalement par deux dispositifs autobloquants fixés à la bride supérieure du support moteur (les supports sont décrits à la section 5.4.9) ; une butée est installée devant la patte de volute opposée à la branche froide.

Les principales fonctions classées de sûreté auxquelles participent les composants du GMPP sont :

- l'intégrité du CPP pour les composants de l'enceinte sous pression,
- l'arrêt des groupes motopompes primaires pour :
 - certaines situations accidentelles de type brèches primaires ou secondaires,
 - la connexion du système RIS-RA en mode RA,
 - les situations conduisant à la perte de refroidissement du GMPP,
 - certaines situations d'ATWS par blocage mécanique des grappes et bas niveau GV,
 - la situation MDTE.

L'arrêt du GMPP est assuré par le comportement de la ligne d'arbre (inertie, rigidité des paliers, comportement vibratoire).

- le maintien de l'étanchéité du circuit primaire (au niveau de la ligne d'arbre) : qui est assurée de façon redondante
 - d'une part par les joints d'arbre refroidis par l'eau du système RRI circulant dans l'échangeur de la barrière thermique et par l'injection d'eau provenant du système RCV, chacun de ces 2 systèmes pouvant suffire seul au refroidissement des joints,
 - d'autre part par la mise en place du DEA et l'isolement des lignes de fuite des joints.
- l'aspersion normale du pressuriseur via un piquage sur la branche froide.

1.1. CORPS DE LA POMPE PRIMAIRE

L'eau primaire pénètre dans la tubulure d'aspiration de la volute, est dirigée vers la roue par le guide d'eau, est pompée à travers la roue, et ressort au travers du diffuseur puis par la tubulure de refoulement.

Toutes les pièces de la pompe en contact avec l'eau primaire sont fabriquées en acier inoxydable, à l'exception des joints, des paliers et des pièces spéciales. Les nuances des matériaux choisis pour les principaux composants figurent au tableau [TAB-5.4.1.2](#).

La volute est une pièce coulée monobloc en acier inoxydable (austéno-ferritique moulé). La roue est fixée sur l'arbre de pompe par une denture et des goujons (à la périphérie et au centre). Le diffuseur est boulonné à la base de la bride de la barrière thermique.

L'étanchéité le long de l'arbre est assurée par trois joints en série qui assurent la chute de pression entre le circuit primaire et l'atmosphère du bâtiment réacteur, ainsi que par un dispositif d'étanchéité à l'arrêt.

La barrière thermique (BT) limite le transfert de chaleur entre l'eau primaire chaude et le palier auxiliaire et les joints. Elle est constituée d'un échangeur alimenté en eau froide par le circuit de refroidissement intermédiaire (RRI).

Le palier principal de la pompe, situé sur le diffuseur, est de type hydrostatique, et est alimenté par la pression existant dans la volute. Un palier auxiliaire, hydrodynamique, situé au niveau de l'échangeur de la barrière thermique, prend le relais du palier principal si les transitoires de pression et de température dans le circuit primaire altèrent le fonctionnement de ce dernier.

Les éléments internes de la pompe peuvent être facilement retirés de la volute.

L'arbre intermédiaire, situé entre l'arbre de la pompe et celui du moteur, autorise les interventions d'entretien du système de joints d'arbre sans démontage du moteur, lesquelles peuvent alors être réalisées rapidement (la méthode d'injection d'huile est utilisée pour monter l'accouplement sur l'arbre de pompe).

Les goujons et écrous de la volute et du logement du joint n° 1 sont conçus pour un serrage par tensionnement hydraulique ou par cannes chauffantes.

1.2. SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ D'ARBRE

Le système d'étanchéité de la ligne d'arbre, présenté en [FIG-5.4.1.3](#), réalise une chute de pression depuis la pression primaire jusqu'aux conditions ambiantes.

Le maintien de l'étanchéité du circuit primaire au niveau de la ligne d'arbre est assuré par :

- les joints d'arbre refroidis par l'eau du système RRI circulant dans l'échangeur de la barrière thermique et par l'injection d'eau provenant du système RCV, chacun de ces 2 systèmes pouvant suffire seul au refroidissement des joints,

- la mise en place d'un Dispositif d'Étanchéité à l'Arrêt (DEA), pour les situations décrites au [§ 4.](#)

a) Joint n°1

Le joint n°1 assure la majeure partie de la chute de pression \square . Il est du type hydrostatique à film d'eau et à fuite contrôlée.

\square

Le joint est alimenté par l'eau provenant du circuit RCV \square .

En fonctionnement normal, la majeure partie des fuites du joint n°1 \square est collectée par la ligne de retour du joint N°1 et dirigée vers le RCV, où elle est refroidie et renvoyée à l'aspiration des pompes de charge (voir Figure [FIG-5.4.1.3](#)). Une faible partie traverse le joint n°2 en fonctionnement normal.

b) Joint n°2

Le joint n°2 est un joint du type à faces frottantes. \square

\square Les fuites du joint n°2 sont évacuées vers un réservoir collecteur du système de purges et événements (RPE) de la centrale (voir Figure [FIG-5.4.1.3](#)).

En cas de défaillance du joint n°1, et après isolement de la ligne de fuite de ce joint, le joint n°2 prend la relève du joint n°1, pour une durée de fonctionnement limitée \square en dynamique et \square en statique permettant d'arrêter le réacteur, en devenant un joint à film d'eau et à fuite contrôlée, ceci grâce aux déformations, sous l'effet de la haute pression, des ensembles flottants et tournants.

c) Joint n°3

Le joint n°3 est du type à faces frottantes. \square Les fuites du joint n°3 sont évacuées vers un puisard du système de purges et événements (RPE) de la centrale (voir Figure [FIG-5.4.1.3](#)).

d) Système de refroidissement des joints N°1, N°2 et N°3

L'échangeur de la barrière thermique, située en amont du joint N°1, est constitué d'un serpentin alimenté par le système RRI. Il limite le transfert de chaleur entre le réfrigérant primaire chaud et le dispositif d'étanchéité de l'arbre (et le palier auxiliaire).

Un débit d'injection aux joints, fourni par le circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) à une pression légèrement supérieure à celle de l'eau primaire, pénètre dans la pompe par une tuyauterie sur la bride de la barrière thermique, et est dirigé dans la cavité située entre la barrière thermique et les joints d'arbre. Ce débit se divise, avec respectivement un tiers du débit remontant le long de l'arbre au travers des joints, et deux tiers descendant le long de l'arbre au travers de l'échangeur de la barrière thermique et du palier auxiliaire, pour finalement se mélanger à l'eau du circuit primaire.

Le refroidissement du joint n°1 est garanti par la redondance RCV / RRI : si une perte d'injection au joint N°1 se produit (perte RCV), l'échangeur de chaleur de la barrière thermique refroidit l'eau primaire à un niveau acceptable avant qu'elle n'entre en contact avec le joint.

Dans le cas d'une situation de perte simultanée de la redondance ci-dessus assurant le refroidissement des joints, le fluide primaire chaud en sortie du joint n°1 est redirigé vers l'IRWST, avant l'arrêt complet de la pompe et la fermeture automatique du DEA et des vannes d'isolement des lignes de fuites des trois joints d'arbre.

e) DEA

Le DEA est localisé en aval du joint N°3, entre le logement de joint N°3 et le manchon d'accouplement pompe (voir Figures [FIG-5.4.1.3](#) et [FIG-5.4.1.4](#)).



L'étanchéité statique secondaire entre les pièces (piston, logements, etc.) est assurée par des joints toriques conçus pour des hautes températures de façon à assurer leur fonctionnement dans les situations accidentelles décrites ci-après.

La conception du système d'étanchéité permet d'installer ou de retirer en même temps les joints N°2 et N°3 et le dispositif d'étanchéité à l'arrêt (conception en cartouche)

Le dispositif d'étanchéité à l'arrêt assure l'étanchéité de l'arbre, pompe à l'arrêt, dans les cas suivants :

- perte simultanée de l'alimentation en eau du RCV et du RRI utilisés pour refroidir le système d'étanchéité de la ligne d'arbre (situations RRC-A),
- défaillance en cascade de tous les étages du système d'étanchéité de la ligne d'arbre, au titre de la défense en profondeur.

1.3. INTERNES DE LA POMPE PRIMAIRE

Les internes de la pompe primaire – représentés à la [FIG-5.4.1.2](#) – sont décrits ci-dessous :

Le guide d'eau est une pièce massive en acier inoxydable. Il est vissé sur la volute en sortie de la tubulure d'aspiration pour canaliser le fluide primaire et ainsi éviter des pertes de rendement.

L'arbre pompe est une pièce massive forgée en acier inoxydable. Il permet de transmettre le couple du moteur à la roue. Il est guidé par un palier hydrostatique en bord de roue et par un palier auxiliaire. Sur l'arbre est fixée la roue et est freiné le demi accouplement pompe.

La roue est une pièce massive moulée en acier inoxydable. Elle est vissée sur l'arbre par un goujon central et des goujons périphériques et a pour fonction de faire circuler le fluide primaire de la pompe à haute température et haute pression.

Le diffuseur est une pièce massive moulée en acier inoxydable. Il est vissé sur la bride de BT par des goujons et a pour rôle d'augmenter le rendement de la pompe.


Le palier hydrostatique est une pièce en acier inoxydable. Il est vissé sur le diffuseur et permet de guider la roue et ainsi limiter les vibrations.


Le palier auxiliaire (ou bague de portance) est un palier hydrodynamique qui permet de remplacer le palier hydrostatique à basse pression ou lors d'éventuel accident.

Les internes de BT et écrans thermiques permettent le bon fonctionnement de la BT mais ne participent pas au confinement de la pression, comme les pattes de BT et les connexions de refroidissement du système RRI.

Le demi accouplement pompe est une pièce massive forgée en acier faiblement allié. Il est freiné hydrauliquement sur l'arbre et permet de transmettre le couple du moteur à l'arbre pompe et de soutenir le cartouche des joints d'arbre.

1.4. MOTEUR ET SUPPORT MOTEUR

Il s'agit d'un moteur à induction à cage d'écureuil refroidi à l'air, à isolation . Un volant d'inertie et un dispositif anti-dévirage sont installés en partie supérieure du moteur.

Les paliers sont de conception conventionnelle. Les paliers radiaux sont de type à patins, et la butée se compose d'une butée double . Tous sont lubrifiés à l'huile. L'eau du RRI alimente l'échangeur d'huile externe du palier supérieur, et l'échangeur d'huile intégré du palier inférieur.

Un système d'injection haute pression apporte un film d'huile dans la butée, avant et pendant le démarrage et l'arrêt. Il projette également de l'huile dans le palier supérieur. Au titre de la défense en

profondeur, le moteur est équipé d'un dispositif de récupération d'éventuelles fuites d'huile au niveau des liaisons mécaniques du système de lubrification du palier supérieur, ainsi qu'au niveau des liaisons mécaniques de l'échangeur huile-eau, et du capteur de niveau d'huile.

Les pièces internes du moteur sont refroidies à l'air. Des ventilateurs intégrés à chaque extrémité du rotor aspirent l'air par des ouïes de refroidissement dans la carcasse du moteur. Cet air circule dans le moteur et notamment sur les développantes du stator. Il est ensuite dirigé sur les échangeurs eau/air externes, alimentés par le RRI.

Chaque moteur est équipé de deux échangeurs, installés de part et d'autre sur la carcasse du moteur. L'air est mis en circulation du moteur vers les échangeurs, puis vers la casemate de la pompe. Les échangeurs sont dimensionnés pour maintenir l'air rejeté à une température de \square ° C. La chaleur résiduelle, rejetée par le moteur dans l'enceinte de confinement, est extraite par le circuit de ventilation continue de l'enceinte (EVR).

Le volant d'inertie peut être contrôlé en retirant son couvercle.

Le support moteur est une pièce massive moulée en acier faiblement allié. Il est positionné sur la bride principale et est fixé à la pompe par les goujons de volute. Il permet de positionner et supporter le moteur par rapport à l'hydraulique. Il assure également le supportage latéral grâce à 2 chapes sur lesquelles viennent se monter les dispositifs autobloquants (voir figure [FIG-5.4.1.2](#)).

1.5. INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE

□

Les actions automatiques concernant le GMPP sont les suivantes :

- arrêt des groupes motopompes primaires sur :
 - signal de bas ΔP entrée/sortie pompe et signal IS (en cas d'APRP, voir [§ 3.](#)),
 - signal d'isolement enceinte phase 2,
 - signal de haute pression enceinte anticipé (en cas de RTV) et chute de pression GV ou basse pression GV,
 - signal de très bas niveau GV (rupture de tuyauterie d'eau alimentaire et perte totale d'eau alimentaire),
 - signal de perte de refroidissement des joints : haute température dans la cavité joint n°1 ou perte barrière thermique et injection aux joints,
 - signal de défaillance en cascade des joints d'arbre,
 - signal de haute température paliers et butées GMPP,
 - signal ATWS et signal bas niveau GV.
 - signal de bas ΔP entrée/sortie pompe et signal IS diversifié (en cas d'ATWS par défaillance PS et APRP),
 - signal basse pression primaire,
- mise en place du DEA sur un GMPP : sur signal GMPP hors service et perte du refroidissement des joints ou défaillance des joints d'arbre.
- isolement de la barrière thermique sur signaux de température et pression élevées ou débit et pression élevés en sortie de l'échangeur de barrière thermique.
- AAR sur signal de basse vitesse des GMPP.
- isolement automatique de l'injection RCV aux joints sur signal haut niveau pressuriseur, ou haut niveau GV (MAX2) et fin du refroidissement partiel, ou haute pression BC.

2. CLASSEMENT DE SURETE

Les parties du système groupe motopompes primaires qui ont un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

3. BASES DE CONCEPTION

Les principaux paramètres de conception des groupes motopompes primaires sont précisés au tableau [TAB-5.4.1.1](#) avec, en particulier, le point de fonctionnement nominal des pompes (hauteur manométrique pour le débit nominal).

La conception des groupes motopompes primaires du réacteur EPR est basée sur celle des groupes motopompes primaires N4. Les principales évolutions sur les pompes primaires EPR sont :

- Augmentation du débit conduisant à une augmentation de puissance de la machine,
- Ajout d'un dispositif d'étanchéité à l'arrêt sur le système de joints d'arbre.

L'augmentation du débit et de la puissance ont induit des modifications sur les parties hydrauliques (roue, diffuseur et volute). Le palier hydrostatique a été adapté aux nouvelles dimensions de la roue.

Le moteur du GMPP EPR a été adapté à la nouvelle puissance, en tenant compte des modifications de l'alimentation électrique de l'EPR.

La conception du GMPP prend en compte la plage de conception de la hauteur manométrique au débit nominal indiquée au tableau [TAB-5.4.1.1](#).

La conception de la cellule hydraulique du groupe motopompe primaire EPR est définie par un code avancé de calcul d'écoulements, et confirmée par de nombreux essais sur modèle réduit sur la boucle d'essais du fournisseur de la pompe :

□

Durant la phase de mise en service de la tranche, les essais initiaux du circuit primaire permettront de valider le comportement hydraulique du GMPP monté sur le circuit primaire. .

La bande d'incertitude des caractéristiques de la pompe, cumulée avec les incertitudes sur la perte de charge de la boucle primaire, se traduit par une plage de débit entourant le débit nominal □ ; les débits de conception minimum (thermo-hydraulique) et maximum (mécanique) du circuit primaire (RCP) sont définis afin de couvrir cette fourchette ([TAB-5.4.1.1](#)).

Le rotor des groupes motopompes primaires fournit une inertie suffisante :

- pour ne pas activer le signal de seuil d'ilotage pendant au moins 1 s en cas de perte d'alimentation électrique du moteur. De plus, le délai entre l'atteinte de ce signal d'ilotage et le signal d'arrêt automatique du réacteur (vitesse de groupe motopompe primaire basse) doit être supérieur à 0,3 s ;
- pour assurer un débit convenable, et donc des marges d'échauffement critique (REC) suffisantes avant l'arrêt automatique du réacteur (déclenchement du groupe motopompe primaire sur basse vitesse) en cas de transitoire de ralentissement de pompe primaire.

L'inertie définie au tableau [TAB-5.4.1.1](#) est principalement assurée par un volant d'inertie situé au sommet de l'arbre du moteur.

La volute est conçue pour une durée de fonctionnement de 60 ans. La durée de vie visée des autres éléments est également de 60 ans, à l'exception de certains éléments d'usure qui seront remplacés périodiquement (paliers, joints d'arbre, joints toriques).

Les groupes motopompes primaires sont conçus pour fonctionner dans les conditions suivantes :

- en cas de fonctionnement de la centrale à puissance réduite avec trois groupes motopompes primaires en service, et pour le démarrage du groupe motopompe primaire à l'arrêt avec les trois autres en service,
- dans des conditions d'arrêt à froid et à basse pression primaire, dans des conditions d'arrêt à chaud, avec un à quatre groupes motopompes primaires en service, et pour le démarrage du groupe motopompe primaire à l'arrêt lorsque les trois autres sont en service,
- lors du refroidissement du réacteur entre l'arrêt à chaud et le passage en mode réfrigération à l'arrêt,
- en cas d'augmentation de la pression primaire jusqu'à la pression primaire de calcul,
- dans les conditions d'arrêt à froid et à chaud avec un à quatre groupes motopompes primaires en service, durant les essais préalables au rechargement.

La capacité de ralentissement de la pompe est conservée dans le cas le plus défavorable d'une perte d'alimentation électrique coïncidant avec un séisme de dimensionnement.

Le signal " ΔP sur groupe motopompe primaire $< \text{Min}1$ et signal d'injection de sécurité" – implémenté de manière diversifiée au TXS et au TXP – conduit à l'arrêt des groupes motopompes primaires, notamment en cas d'APRP. La combinaison avec le signal d'injection de sécurité vise à éviter un arrêt intempestif. ΔP se rapporte à la différence de pression entre l'entrée du groupe motopompe primaire (pression de la branche en U) et sa sortie (pression de la branche froide).

Les groupes motopompes primaires sont conçus pour supporter sans remise en cause de l'étanchéité de la ligne d'arbre :

- une perte d'injection d'eau du RCV au joint n°1, pompe en fonctionnement continu ou arrêtée,
- une perte d'eau du RRI refroidissant l'échangeur de la barrière thermique, pompe en fonctionnement continu ou arrêtée,
- une perte simultanée de l'injection au joint n°1 et du refroidissement de la barrière thermique, si l'une des deux fonctions est récupérée en moins de 2 minutes.

Le dispositif d'étanchéité à l'arrêt est conçu pour :

- une fois activé, atteindre sa position fermée et rester étanche en cas de sollicitations en pression et en température résultant de la perte du refroidissement des joints. Avant la mise en place du DEA, pendant la phase de ralentissement du GMPP, les joints n°1 et n°2 restent intègres sous l'effet de la remontée d'eau chaude,
- isoler la fuite importante qui résulterait d'une défaillance en cascade des joints d'arbre,
- prévenir une auto fermeture sous l'effet d'une défaillance en cascade du système d'étanchéité de la ligne d'arbre,
- rester étanche par effet autoclave, une fois activé, jusqu'à ce qu'une pression primaire très faible soit atteinte, même si la pression d'alimentation en azote est perdue,
- prévenir l'endommagement du système d'étanchéité de la ligne d'arbre par activation intempestive, liée à l'alimentation en azote, du piston d'étanchéité à l'arrêt lorsque la pompe tourne. Cette prévention est garantie par la séquence d'activation du DEA, qui nécessite :
 - d'une part la fermeture de la vanne d'échappement à l'atmosphère de la ligne d'alimentation en N2,
 - d'autre part l'ouverture d'une vanne et d'un clapet en série sur la ligne d'alimentation en N2.

4. ÉVALUATION DE SÛRETÉ DU SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ

Le maintien de l'étanchéité du circuit primaire au niveau du GMPP est assuré en fonctionnement normal par les joints d'arbre refroidis par la barrière thermique (RRI), ou par l'injection aux joints (RCV).

En situation PCC, les exigences de conception du RRI permettent de garantir le maintien du refroidissement des joints d'arbre du GMPP par la barrière thermique.

Pour les situations accidentelles (RRC-A) conduisant à la perte simultanée du refroidissement des joints d'arbre par la barrière thermique (RRI) et par l'injection RCV, le dispositif d'étanchéité à l'arrêt assure le maintien de l'étanchéité du circuit primaire.

Le système d'étanchéité de la ligne d'arbre comporte trois joints disposés en série et un dispositif d'étanchéité à l'arrêt.

La conception des joints n° 1 et n° 2 est identique à celle utilisée avec une bonne expérience opérationnelle sur les groupes motopompes primaires des centrales N4 et CP 1300 ; la conception du joint n°3 est très proche de celle utilisée sur les groupes motopompes primaires des centrales CP 900.

Certaines améliorations ont cependant été retenues pour respecter les prescriptions suivantes du réacteur EPR :

- fonctionnement de la pompe à basse pression lorsque le circuit d'injection de sécurité fonctionnant en mode réfrigération à l'arrêt est raccordé,
- absence d'un système de secours pour une injection rapide aux joints d'arbre en cas de perte totale des alimentations électriques,
- dispositif d'étanchéité à l'arrêt pouvant être mis en service lorsque la pompe ne fonctionne pas.

En conséquence, le système d'étanchéité de la ligne d'arbre et le dispositif d'étanchéité à l'arrêt sont équipés de joints toriques fabriqués dans une nuance de matériau qualifiée pour les températures et pressions élevées^[1].

En fonctionnement normal, le joint N°1 assure la majeure partie de la perte de pression, avec une fuite contrôlée évacuée vers le RCV.

Le joint n°2 prend le relais du joint n°1 en cas de défaillance de ce dernier, et est conçu pour assurer cette fonction pendant au moins trente minutes pompe en rotation et pendant vingt-quatre heures une fois que la pompe est arrêtée. Une défaillance du joint n°1 est détectée par le débitmètre situé sur la ligne de fuite, qui est automatiquement isolée ; la puissance de la centrale est réduite à un niveau acceptable permettant l'arrêt de la pompe ; une fois la pompe arrêtée, la centrale est arrêtée, le joint n° 2 reprenant le rôle du joint n° 1, ou, si le joint n° 2 est également détecté défaillant, le dispositif d'étanchéité à l'arrêt est activé et toutes les autres lignes de fuites sont fermées.

Le dispositif d'étanchéité à l'arrêt se situe dans la partie supérieure du système d'étanchéité de la ligne d'arbre, au-dessus du joint n°3.

[1]

Le dispositif d'étanchéité à l'arrêt est conçu pour rester étanche lors de sa mise en place sur les 4 GMPP, en cas de perte de refroidissement des joints d'arbre résultant des situations RRC-A suivantes :

- Manque De Tension Généralisé (MDTG, voir section 19.1.3Fsc),
- perte de la source froide ultime sur 100 h (LUHS, voir section 19.1.3Fsk.1) – phase 0-24h,
- ATWS par perte du PS – MDTE (voir section 19.1.3Fsb.2, couvrant la rupture d'un commun RRI).

Le DEA est conçu et qualifié sur 24 heures pour les conditions thermohydrauliques primaires les plus pénalisantes parmi les transitoires ci-dessus.

Bien que les situations mentionnées plus haut ne conduisent pas à dégrader les conditions d'ambiance dans l'enceinte, la conception du DEA, de son système d'activation et des vannes associées tient compte de conditions d'ambiance accidentelles en pression, température et humidité.

La mise en place du DEA est également prévue en cas de défaillance en cascade de tous les étages du système d'étanchéité de la ligne d'arbre, au titre de la défense en profondeur.

5. INTÉGRITÉ MÉCANIQUE DANS DES CONDITIONS ACCIDENTELLES

Survitesse du rotor

Les trois transitoires principaux pouvant entraîner une survitesse sont :

- une fréquence excessive du réseau,
- la déconnexion de la centrale du réseau,
- la rupture du circuit primaire combinée à une perte d'alimentation électrique. L'accident de perte de réfrigérant primaire le plus pénalisant pour les groupes motopompes primaires est la rupture de la ligne d'expansion au niveau du raccordement sur la boucle primaire. Avec une rupture d'une telle taille, la survitesse des groupes motopompes primaires reste inférieure à la valeur de conception.

Les groupes motopompes primaires sont conçus pour une survitesse \square par rapport à la vitesse normale.

Le moteur des groupes motopompes primaires (y compris le volant d'inertie) est essayé à cette survitesse \square .

Le volant d'inertie est composé de deux plaques épaisses boulonnées ensemble. Il est légèrement freiné sur l'arbre, et trois clavettes spéciales assurent la transmission du couple.

Six trous dans le volant d'inertie permettent, sans démontage, un contrôle en service périodique par ultrasons des zones les plus sollicitées, situées dans les coins des rainures de clavette.

Toutes ces dispositions écartent le risque d'un projectile à l'intérieur de l'enceinte de confinement par défaillance du volant d'inertie.

Analyse du comportement mécanique de la volute

La volute des pompes du réacteur EPR est conçue dans la continuité du REX exploitant :

- le diamètre interne a légèrement augmenté, ce qui se traduit par un faible accroissement de l'épaisseur de la paroi,
- les diamètres des tubulures d'aspiration et de refoulement ont été adaptés au diamètre de la boucle primaire, entraînant principalement une légère modification des dimensions du cône de refoulement,
- l'épaisseur radiale de la bride a augmenté, de même que le diamètre des goujons de la volute.

La volute est analysée selon les règles du RCC-M B3230, en utilisant la méthode des éléments finis appliquée à son modèle tridimensionnel, dans les situations suivantes :

- dans les conditions de références (critères de niveau 0),
- dans les conditions normales de fonctionnement (analyse de la fatigue, critères de niveau A),
- dans les conditions de l'épreuve hydraulique,

- pour les situations de 3ème catégorie (critères de niveau C),
- pour les situations de 4ème catégorie (critères de niveau D).

De plus, une analyse de comportement de la volute vis-à-vis de la rupture brutale est réalisée conformément aux exigences de l'annexe ZG du RCC-M.

6. MATÉRIAUX

6.1. VOLUTE

Compte tenu de l'expérience acquise sur des volutes similaires, l'utilisation d'un corps en acier inoxydable massif a été retenue.

La volute est en acier inoxydable austéno-ferritique moulé [1]. La composition chimique et les caractéristiques mécaniques sont précisées dans le RCC-M [1].

Cette nuance offre de bonnes caractéristiques mécaniques et possède une bonne résistance à la corrosion.

Pour éviter les problèmes de corrosion intercrystalline, la teneur en carbone est limitée [1]. D'autre part, le taux de ferrite et la composition chimique de la nuance [1] utilisée, permettent d'obtenir les caractéristiques mécaniques imposées pour cette nuance. La teneur en ferrite est de plus comprise [1] afin de maintenir une bonne ténacité en service. Le contrôle de la teneur en ferrite est obtenu par des exigences supplémentaires sur la composition chimique.

6.2. LOGEMENTS DE JOINTS ET BRIDE DE BARRIÈRE THERMIQUE

Les pièces sont en acier inoxydable austénitique forgé [1].

La composition chimique et les caractéristiques mécaniques sont précisées dans le RCC-M [1].

Les essais de corrosion intercrystalline sont effectués conformément aux exigences du RCC-M [1].

6.3. BRIDES PRINCIPALES

Les brides principales sont des pièces forgées en acier allié au manganèse, nickel, molybdène [1].

La composition chimique et les caractéristiques mécaniques sont précisées dans le RCC-M [1].

Avant usinage, chaque bride subit un traitement thermique de qualité composé d'une austénitisation [1], d'une trempe à l'eau et d'un revenu suivi d'un refroidissement lent.

6.4. ARBRES DE POMPE

Ils sont usinés à partir d'ébauches forgées en acier inoxydable austénitique stabilisé [1]. Le choix du matériau a principalement été guidé par les exigences de stabilité dimensionnelle requises pour un tel composant.

La composition chimique et les caractéristiques mécaniques sont spécifiées dans le RCC-M [1].

Avant usinage, chaque arbre subit une hypertrempe à l'eau [1]. En outre, chaque arbre subit un traitement de stabilisation suivi d'un refroidissement lent.

6.5. GOUJONNERIE DE VOLUTE

Cette goujonnerie est en acier faiblement allié au nickel-chrome-molybdène [1] selon le RCC-M [1].

6.6. VOLANT

Le volant est constitué de deux disques laminés. La composition chimique et les caractéristiques mécaniques de l'acier utilisé sont précisées dans le RCC-M [\[1\]](#). Cette nuance est bien connue par ailleurs en version forgée car elle est utilisée dans la fabrication des pièces pour rotors basse pression BP de turbine [\[2\]](#).

[\[1\]](#)

Un contrôle par ultrasons à 100% est effectué sur la pièce ébauchée après les traitements thermiques.

Un contrôle par ressuage est effectué sur la pièce finie d'usinage.

7. FABRICATION ET ESSAIS

7.1. VOLUTE - ENSEMBLE

La volute est du type monobloc (corps et pattes coulés en une seule partie).

7.2. VOLANT D'INERTIE

(voir paragraphe [§ 6.6.](#))

7.3. ÉQUILIBRAGE DYNAMIQUE DES PARTIES TOURNANTES

Un soin tout particulier est apporté pour cette opération, afin d'éviter tout balourd éventuel risquant de générer des niveaux de vibrations importants. La procédure suivie pour l'équilibrage des parties tournantes de la pompe est la suivante :

- 1) équilibrage de la roue,
- 2) équilibrage de l'ensemble arbre + accouplement + arbre intermédiaire,
- 3) équilibrage de l'ensemble roue + arbre + accouplement + arbre intermédiaire.

L'équilibrage du rotor du moteur est effectué lors des essais à vide du moteur assemblé.

L'équilibrage final de l'ensemble de la ligne d'arbre du GMPP est effectué, après assemblage, lors des essais des GMPP sur site.

7.4. ESSAIS EFFECTUÉS EN USINE SUR CHAQUE GROUPE MOTOPOMPE

Chaque motopompe primaire est testée à vitesse, pression et température nominales et avec un débit réduit.

[\[1\]](#)

L'objectif de ces essais est d'ajuster les réglages des dispositifs de sécurité des équipements et de vérifier le bon fonctionnement mécanique de la motopompe primaire (joints d'arbre, barrière thermique, injection d'eau, siège d'arbre, paliers, déplacement d'arbre et vibrations du stator,...) [\[2\]](#)

[\[1\]](#)

Avant montage sur la boucle, chaque série de joint subit chez le fournisseur, une série d'essais sur banc avec mesure des fuites en fonction de la pression.

Chaque joint n° 1 est testé sur un banc d'essais afin de subir des essais dynamiques dans des conditions nominales et des essais dynamiques et statiques dans des conditions de basse pression et de basse température d'injection.

Chaque joint à cartouche n°2 et 3 est testé sur un banc d'essais afin de subir des essais dynamiques dans des conditions nominales et des essais dynamiques dans des conditions à froid.

7.5. ESSAIS PARTICULIERS DU GMPP

Outre les essais requis dans le § 7.4., des essais supplémentaires sont réalisés à débit réduit sur la première pompe primaire du réacteur EPR en tenant compte des caractéristiques de l'environnement du GMPP

□

7.6. ESSAIS DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR EN USINE

Les moteurs font l'objet de vérifications et essais sur plate-forme.

Chaque moteur subit les essais électriques classiques (mesure des résistances des enroulements et d'isolement, essais à vide et en court-circuit, rigidité diélectrique, essai de survitesse).

□

8. ÉPREUVE HYDRAULIQUE EN USINE

En accord avec l'arrêté ESPN et avec le RCC-M □, l'équipement sous pression de niveau N1 est éprouvé à une pression au moins égale à $PS \times k$ □

□

Les propriétés des matériaux conduisant à des taux différents entre la partie moulée (volute) et la partie forgée, l'épreuve est réalisée en 2 parties.

9. MONTAGE SUR LE SITE

Le groupe motopompe est transporté en 4 sous-ensembles principaux :

- la volute,
- l'ensemble hydraulique (joints d'arbre non montés),
- le support moteur,
- le moteur.

□

Différentes vérifications du comportement du moteur sont effectuées avant accouplement du moteur à la pompe.

Des essais de comportement du GMPP sont effectués dans des phases d'essais à froid et à chaud de la tranche :

□

10. INSTRUCTIONS POUR L'EXPLOITATION

Les instructions pour l'exploitation figurent dans le guide d'entretien et d'exploitation.

**TAB-5.4.1.1 PARAMÈTRES DE CONCEPTION DES
GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.1

PAGE 17/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.1.2 GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES –
MATÉRIAUX**

□

**TAB-5.4.1.3 GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES – LISTE
DES COMPOSANTS DE L'ENCEINTE SOUS PRESSION**

- la volute,
- la bride principale,
- la bride de barrière thermique,
- l'échangeur de barrière thermique,
- les logements de joints 1 à 3 et le DEA (incluant le piston et le grain, monté sur le manchon),
- l'ensemble des piquages soudés sur l'enveloppe, incluant les brides et manchettes de raccordement,
- les pièces d'assemblage de l'enceinte : goujons, écrous, vis.

En plus de l'enceinte sous pression, d'autres composants font partie de l'équipement N1 :

- les internes : roue, diffuseur, arbre pompe, guide d'eau,
- le support moteur et le moteur.

FIG-5.4.1.1 GROUPES MOTOPOMPES PRIMAIRES – ASSEMBLAGE GÉNÉRAL

FIG-5.4.1.2 PLAN DE COUPE DE LA POMPE PRIMAIRE

FIG-5.4.1.3 SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ D'ARBRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.1

PAGE 22/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-5.4.1.4 JOINT N°3 ET DEA

□

SOMMAIRE

.5.4.2 GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	4
1. DESCRIPTION	4
1.1. CONCEPTION GÉNÉRALE	4
1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES	4
1.3. SOUS-ENSEMBLE INFÉRIEUR	5
1.4. SOUS-ENSEMBLE SUPÉRIEUR	6
1.5. SUPPORTAGE	7
1.5.1. SUPPORTS VERTICAUX	7
1.5.2. SUPPORT LATÉRAL	7
2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET INTERFACES	8
3. PRINCIPE DE CONCEPTION ET OBJECTIFS	8
3.1. CLASSEMENT SÛRETÉ	8
3.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES	8
3.3. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES SÉLECTIONNÉES	9
3.4. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET REMPLACEMENT	10
4. CONCEPTION THERMOHYDRAULIQUE	11
4.1. PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT	11
4.2. CRITÈRES THERMODYNAMIQUES	11
4.3. CONCEPTION THERMIQUE	12
4.4. CONCEPTION HYDRAULIQUE	12
4.5. VIBRATIONS DU FAISCEAU TUBULAIRE	13
5. MATÉRIAUX	13
5.1. PIÈCES DE L'ENCEINTE SOUS PRESSION	13
5.1.1. MATÉRIAUX DE BASE	13
5.1.2. ÉLABORATION ET TRAITEMENT THERMIQUE	14
5.1.3. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES	15
5.1.4. CONTRÔLES NON DESTRUCTIFS	15
5.2. AUTRES MATÉRIAUX PRINCIPAUX SÉLECTIONNÉS	16
5.3. MATÉRIAUX D'APPORT	16
6. CONCEPTION MÉCANIQUE	16

6.1. CONDITIONS D'ÉTUDES POUR LE COMPORTEMENT	
 MÉCANIQUE	17
 6.1.1. CONDITIONS D'ÉTUDES POUR LE DIMENSIONNEMENT	17
 6.1.2. CONDITIONS D'ÉTUDES POUR L'ANALYSE DU	
 COMPORTEMENT	17
6.2. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT	17
6.3. CALCULS POUR LE DOSSIER D'ANALYSE DU	
 COMPORTEMENT	18
6.4. CONCEPTION DES SOUS-ENSEMBLES	18
6.5. CONCEPTION RELATIVE AUX RUPTURES DE TUYAUTERIE ET	
 AUX SÉISMES	19
7. ÉVALUATION DE SÛRETÉ	19
8. FABRICATION	19
 8.1. RÉALISATION DE LA PARTIE INFÉRIEURE	19
 8.2. RÉALISATION DE LA PARTIE SUPÉRIEURE	19
 8.3. ASSEMBLAGE FINAL	19
 8.4. POINTS PARTICULIERS DE FABRICATION	19
 8.5. CONTRÔLES DE FABRICATION	19
 8.6. SYNTHÈSE DE LA FABRICATION	20
9. CONTRAINTES CHIMIQUES DU CÔTÉ SECONDAIRE PROVENANT DU	
 GV – MATÉRIAUX ET MODES DE FONCTIONNEMENT	20
10. ÉPREUVE HYDRAULIQUE	20

TABLEAUX :

TAB-5.4.2.1 FICHE TECHNIQUE DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR	21
TAB-5.4.2.2 PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT SUPPLÉMENTAIRES	27
TAB-5.4.2.3 PRINCIPAUX MATÉRIAUX SÉLECTIONNÉS SUR LE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR.....	28
TAB-5.4.2.4 GÉNÉRATEUR DE VAPEUR- LISTE DES PRINCIPAUX CONTRÔLES EFFECTUÉS LORS DE L'APPROVISIONNEMENT DES COMPOSANTS ET EN COURS DE FABRICATION	29

FIGURES :

FIG-5.4.2.1 VUE EXTERNE – PRINCIPALES DIMENSIONS	30
FIG-5.4.2.2 VUE GÉNÉRALE - POSITION DES ÉLÉMENTS.....	31
FIG-5.4.2.3 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN GV À ÉCONOMISEUR AXIAL	32
FIG-5.4.2.4 COUPE ET DÉTAILS DES INTERNES SUPÉRIEURS	33
FIG-5.4.2.5 DÉTAILS ASSEMBLAGE FAISCEAU ET COUPES À DIFFÉRENTS NIVEAUX.....	34
FIG-5.4.2.6 ZONES ÉTUDIÉES DU DAC	36

.5.4.2 GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

1. DESCRIPTION

1.1. CONCEPTION GÉNÉRALE

Le réacteur EPR FA3 est équipé de quatre générateurs de vapeur selon le modèle « 79/19 TE ». Le sigle « TE » signifie que le GV est équipé d'un pas triangulaire (faisceau tubulaire) et d'un économiseur axial.

Le générateur de vapeur est un échangeur thermique de type recirculation avec des tubes en U inversés. Il utilise la puissance thermique extraite du cœur par l'eau du circuit primaire pour produire, à partir de l'eau d'alimentation venant du poste de réchauffage, la vapeur nécessaire au circuit secondaire de la tranche.

Chaque générateur de vapeur est inclus dans une boucle du circuit primaire. Côté primaire, il est relié à la cuve et à la pompe primaire par des tuyauteries de faible longueur ; côté secondaire il est relié à la salle des machines par les tuyauteries d'eau alimentaire et de vapeur.

Pour des raisons d'installation générale, il est nécessaire de distinguer les GV dits « GV gauches » des GV dits « GV droits ». Les GV sont appelés « gauches » ou « droits » lorsque vue du centre de la cuve, la tubulure de « sortie » fluide primaire (branche froide) est située vis-à-vis de la tubulure "entrée" fluide primaire (branche chaude), soit à gauche soit à droite. Les GV dits « gauche » sont situés dans les secteurs 0° - 90° et 180° - 270°, et les GV dits « droits » sont situés dans les secteurs 90° -180° et 270° -0°.

La conception générale du générateur de vapeur de type 79/19 TE résulte de l'expérience acquise sur le dimensionnement, le fonctionnement et les résultats d'exploitation des générateurs de vapeur de type 73/19 TE du palier N4.

Les figures [FIG-5.4.2.1](#) à [FIG-5.4.2.5](#) représentent les vues extérieures et différentes coupes d'un générateur de vapeur. Elles précisent la position des différents sous-ensembles et les principales caractéristiques géométriques.

Les générateurs de vapeur du réacteur EPR de FA3 sont construits suivant les exigences techniques de l'arrêté ESPN et selon les règles de conception et de construction applicables aux matériels mécaniques (RCC-M).

1.2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

La conception du générateur de vapeur du réacteur EPR est basée sur celle du générateur de vapeur N4 (type 73/19 TE). C'est un échangeur à tubes en U à circulation naturelle équipé d'un économiseur axial (voir figure [FIG-5.4.2.2](#)).

Le générateur de vapeur est composé de deux sous-ensembles : l'un assurant la vaporisation de l'eau du circuit secondaire, l'autre le séchage mécanique du mélange eau /vapeur généré. Il est disposé verticalement et le mélange eau/vapeur est entraîné vers le haut par circulation naturelle. L'eau alimentaire pénètre dans le générateur de vapeur par la tubulure d'eau alimentaire principale, installée sur la virole conique afin de réduire la stratification thermique puis par le demi-tore d'eau alimentaire (côté branche froide) équipé d'un déflecteur et installé au-dessus de la partie supérieure du faisceau tubulaire.

Le principe de l'économiseur axial (voir figure [FIG-5.4.2.3](#)) consiste principalement à imposer à toute l'eau alimentaire de pénétrer dans la branche froide du faisceau tubulaire et environ à 90 % de l'eau recyclée dans la branche chaude. Cela est assuré en pratique en ajoutant à la conception d'un GV bouilleur standard à tubes en U et à circulation naturelle :

- une double enveloppe dans le retour d'eau du côté froid pour guider l'eau alimentaire vers la branche froide du faisceau tubulaire,
- une plaque de séparation, côté secondaire (de la plaque tubulaire jusqu'à la 6^{ème} plaque entretoise) pour séparer la branche froide et la branche chaude du faisceau tubulaire. De plus et conjointement aux deux caractéristiques de conception précédentes, le système de distribution d'eau alimentaire (tore percé de trous oblongs et déflecteur) du générateur de vapeur ne s'étend que sur une portion angulaire de 180° de l'enveloppe et ce, côté froid.

Cette conception augmente l'efficacité de l'échange thermique entre le côté primaire et le côté secondaire et augmente de 3 bar la pression de vapeur en sortie, par rapport à un générateur de vapeur bouilleur standard possédant la même surface d'échange.

Contrairement aux autres conceptions d'économiseur, cette conception possède en plus deux autres avantages :

- il n'y a pas d'écoulement transverse direct sur les tubes, ni risque de vibrations,
- l'accessibilité au faisceau tubulaire pour inspection et maintenance n'est pas réduite.

Le générateur de vapeur est entièrement fabriqué en usine, transporté sur le site et installé en une seule pièce dans sa casemate dans le bâtiment réacteur.

Il est soutenu verticalement par quatre béquilles et guidé latéralement à deux niveaux (voir section 5.4.9).

1.3. SOUS-ENSEMBLE INFÉRIEUR

Le sous-ensemble inférieur est composé de :

- La boîte à eau, constituée principalement d'un fond hémisphérique inférieur et d'une plaque tubulaire. Une section cylindrique a été ajoutée à la partie supérieure de la boîte à eau, afin d'améliorer l'accès aux tubes périphériques pour inspection. Une plaque de partition primaire sépare la boîte à eau en deux compartiments étanches. Un des compartiments est relié à la sortie de la cuve du réacteur (branche chaude) et l'autre à l'entrée de la cuve du réacteur via la pompe primaire (branche froide). Chaque compartiment comporte une tubulure pour la connexion au circuit primaire et un trou d'homme qui permet l'accès pour les inspections en service et les opérations de maintenance. Des moyens spécifiques sont prévus pour permettre le bouchage des tubulures afin de pouvoir procéder à des inspections et des opérations de maintenance à l'intérieur de chaque compartiment de la boîte à eau lors des arrêts pour rechargement du combustible.
- L'enceinte secondaire est constituée de trois viroles cylindriques et d'une virole conique. La virole basse est équipée de 8 trous de poing dans sa partie inférieure pour les inspections en service et les opérations de maintenance de la partie inférieure du faisceau tubulaire. La virole médiane est équipée de deux trous d'œil diamétralement opposés au niveau de la 6^{ème} plaque entretoise, dans l'axe de la rue d'eau centrale. Un ensemble de piquages pour la mesure du niveau d'eau du GV est situé sur les viroles basses, coniques, de tubulure et supérieures. Enfin, la purge du GV est assurée au moyen de trois piquages.
- Le faisceau tubulaire, constitué de tubes en U inversés, permet l'échange thermique entre le fluide primaire circulant à l'intérieur des tubes, et le fluide secondaire. Il constitue également une barrière radiologique entre la partie primaire et la partie secondaire de la chaudière nucléaire (NSSS).
L'arrangement du faisceau tubulaire est un pas triangulaire.
Les extrémités des tubes en U inversés sont soudées sur le revêtement de la face primaire de la plaque tubulaire. Ces soudures sont soumises à un contrôle d'étanchéité à l'hélium et les extrémités des tubes en U sont ensuite expansées sur toute la hauteur de la plaque tubulaire afin d'éliminer les interstices.
Il a été prouvé que l'outillage et la procédures utilisés pour l'expansion des tubes minimisaient les contraintes résiduelles dans la zone de transition entre la partie du tube expansée et celle non expansée.

Des mesures sont prises pour garantir que l'expansion des tubes s'achève juste en dessous de la face secondaire de la plaque tubulaire.

- Les internes inférieurs, dont le rôle est de supporter le faisceau tubulaire tout en assurant la circulation du fluide secondaire.

Les internes inférieurs comportent :

- Une enveloppe du faisceau qui isole le cheminement de l'eau de recirculation de celui du mélange eau/vapeur. Elle crée une zone annulaire entre le faisceau tubulaire et l'enceinte sous pression appelée retour d'eau. Une ouverture annulaire se trouvant en partie inférieure permet d'alimenter en eau le faisceau tubulaire.
- Un demi-espace annulaire côté branche froide constitué d'une double enveloppe concentrique avec l'enveloppe de faisceau et dont la sortie se trouve à proximité de la face secondaire de la plaque tubulaire en périphérie du faisceau tubulaire, côté branche froide.
- Une plaque de séparation secondaire, soudée à l'enveloppe de faisceau, qui sépare le côté branche froide du côté branche chaude jusqu'à la 6ème plaque entretoise et qui constitue la zone à « économiseur ».
- 9 plaques entretoises espacées de manière appropriée sur toute la hauteur du faisceau tubulaire afin de supporter les tubes et éviter ainsi tout phénomène de vibration/usure. Des trous à brochage trifoliés (brochage « haute perméabilité ») avec des contacts plats (pour éliminer le risque d'assèchement) permettent au mélange eau/vapeur secondaire de circuler librement. Sur toute la hauteur de la plaque de séparation de l'économiseur, chacune des plaques entretoises est constituée de deux demi-plaques. Ces plaques entretoises sont centrées à l'aide de cales biaises fixées sur des blocs antisismiques régulièrement espacés sur leur pourtour, eux-mêmes centrant l'enveloppe de faisceau sur l'enceinte sous pression. Elles sont fixées verticalement et espacées par un réseau de tirants vissés sur la face secondaire de la plaque tubulaire. Les tirants, les blocs antisismiques et les plaques entretoises sont conçus pour résister à des chargements dans le plan et hors plan, même en situations de 4ème catégorie (séismes, ruptures de tuyauterie), voir [§ 6.3.](#)
- Une plaque de répartition de débit conçue pour obtenir une bonne distribution du fluide à l'entrée du faisceau tubulaire et pour minimiser la zone à faible vitesse d'écoulement au-dessus de la plaque tubulaire.
- 3 tubes percés de trous, conçus pour permettre une vidange rapide du GV et une purge continue.

1.4. SOUS-ENSEMBLE SUPÉRIEUR

Le sous-ensemble supérieur (ballon vapeur) est constitué de deux viroles cylindriques, d'une virole conique et d'un fond supérieur elliptique. La partie cylindrique comporte :

- deux trous d'homme qui permettent l'accès à l'équipement de séchage/séparation. Ils permettent également d'accéder aux systèmes d'alimentation en eau et au sommet du faisceau tubulaire via la trappe d'accès à travers l'enveloppe de faisceau et les trous de caméra installés sur le toit de l'enveloppe de faisceau,
- un ensemble de piquages de mesure du niveau d'eau du GV et de la pression vapeur.


Le fond elliptique supérieur comporte une tubulure d'échappement vapeur intégrale (sans soudure) équipée d'un limiteur de débit de vapeur soudé qui limite les forces appliquées au faisceau tubulaire du GV et aux internes en cas de rupture de tuyauterie vapeur.

Le ballon vapeur est équipé :

- d'un système d'eau alimentaire principal comportant :
 - la tubulure d'eau alimentaire principale située dans la virole conique,

- la manchette thermique (connexion étanche entre la tubulure d'eau alimentaire principale et le tore d'eau alimentaire),
 - le demi-tore d'eau alimentaire muni d'un déflecteur et assurant une répartition uniforme de la totalité de l'eau alimentaire principale (ARE) ou de l'eau alimentaire du circuit de démarrage et de refroidissement (AAD) dans le retour d'eau côté branche froide.
 - les supports du demi-tore d'eau alimentaire,
- un système d'alimentation d'eau de secours comportant :
- sa tubulure d'entrée spécifique,
 - la manchette thermique (connexion étanche entre la tubulure de l'eau de secours (ASG) et le tore alimentaire d'eau de secours),
 - le tore de distribution d'eau alimentaire de secours équipé de tubes en I (pour éviter tout risque d'impact d'eau froide sur les enceintes sous pression) et distribuant l'eau alimentaire de secours dans le retour d'eau côté branche chaude et côté branche froide,
 - le système de supportage.

La séparation physique entre le système d'eau alimentaire principal et le système d'eau alimentaire de secours et leur conception respective permettent d'éliminer les risques de coups de bélier et de minimiser les effets de la stratification thermique.

- le matériel de séparation eau/vapeur comportant :
- un premier étage de séparateurs type cyclone  (connectés au toit de l'enveloppe du faisceau), chaque séparateur étant conçu de façon à obtenir un très faible réentraînement de vapeur,
 - un sécheur à un seul étage (accroché au fond supérieur du ballon vapeur) qui permet d'obtenir un faible taux de primage au niveau de la sortie du générateur de vapeur.

1.5. SUPPORTAGE

Le système de supportage du générateur de vapeur (voir section 5.4.9), est conçu pour permettre la dilatation thermique de la boucle et les déplacements dus à la pression mais limitent ces déplacements lors d'accidents. Le supportage est composé de supports verticaux et de supports latéraux décrits ci-après.

1.5.1. Supports verticaux

Le supportage vertical du générateur de vapeur est réalisé grâce à quatre béquilles, munies de chapes à rotules. Les parties supérieures des béquilles sont fixées au générateur de vapeur, à 90° les unes des autres, au moyen de goujons précontraints fixés sur des consoles forgées intégrées au fond primaire. Les parties inférieures des béquilles sont composées d'un socle circulaire et d'une chape mâle et sont fixées au plancher par 4 tirants précontraints.

1.5.2. Support latéral

Des butées latérales sont installées à deux niveaux :

- Au niveau inférieur, des butées sont placées au niveau de la plaque tubulaire. Deux butées latérales guident le générateur de vapeur lors de la dilatation thermique de la boucle. La conception est telle qu'elle permet d'accéder facilement aux soudures de la plaque tubulaire pour les inspections en service. Une troisième butée située dans l'axe de la branche chaude est conçue pour maintenir le générateur de vapeur et le stabiliser en présence d'une « charge statique type 2pA » conventionnelle.

- Au niveau supérieur, 4 supports horizontaux sont directement fixés à la virole du générateur de vapeur au niveau de son centre de gravité environ. Les déplacements thermiques de la boucle restent libres grâce à deux bielles, permettant les mouvements de GV radiaux à la cuve et à deux bloqueurs hydrauliques avec des extrémités rotulées parallèles à l'axe de la branche chaude. Les bloqueurs hydrauliques empêchent tout déplacement brusque du générateur de vapeur dû à un séisme ou à une rupture de tuyauterie. La conception du support horizontal supérieur est donc une conception sans jeu qui permet la libre dilatation thermique de la virole du générateur de vapeur et de la boucle et qui limite l'amplification du déplacement horizontal du générateur de vapeur en cas de rupture de tuyauterie ou de séisme.

2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET INTERFACES

Les conditions de fonctionnement et les interfaces sont données dans le tableau [TAB-5.4.2.1](#), pour une puissance de la chaudière nucléaire de 4500 MWth.

Pour les conditions thermohydrauliques TH, les principales caractéristiques thermohydrauliques secondaires, à 100 % de la puissance nominale sont les suivantes :

- température d'eau alimentaire : 230°C,
-
- pression de saturation : 7,8 MPa abs,
-

Les caractéristiques primaires correspondantes sont :

- température d'entrée : 329,8°C,
- température de sortie : 295,4°C,
- pression de fonctionnement : 15,5 MPa abs,
- puissance thermique évacuée par GV : 1131 MW.
- débit primaire par boucle : 27185 m³/h

3. PRINCIPE DE CONCEPTION ET OBJECTIFS

3.1. CLASSEMENT SÛRETÉ

Les parties des générateurs de vapeur jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

3.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES

Le générateur de vapeur est conçu pour remplir les fonctions suivantes :

- produire, en utilisant le circuit primaire comme source de chaleur, de la vapeur à une pression et un débit massique à un niveau spécifié et avec un taux d'humidité maximal ne dépassant pas 0,25 % en sortie de GV (en sortie de tuyère),
- permettre la purge en continu en fonctionnement du côté chaud du secondaire des générateurs de vapeur: Le débit de purge du générateur de vapeur permet la transition entre la chimie du conditionnement de l'arrêt à froid et la chimie en attente à chaud en moins de huit heures.
- indiquer une valeur du niveau d'eau du côté secondaire, assurer la régulation automatique du niveau d'eau quel que soit le niveau de puissance (de l'arrêt à chaud jusqu'au fonctionnement à pleine puissance),
- constituer une barrière étanche entre le circuit primaire et le côté secondaire du générateur de vapeur,

- servir de premier moyen d'évacuation de la chaleur résiduelle de décroissance du fluide primaire lors de l'arrêt de la centrale en utilisant aussi bien l'eau alimentaire principale en fonctionnement normal ou l'eau alimentaire de secours en conditions accidentelles: Ceci permet d'abaisser la température de l'eau primaire à une valeur suffisamment inférieure à la température de saturation correspondant à la pression de mise en service du système de refroidissement à l'arrêt.
- permettre la conservation humide du générateur de vapeur dans des conditions de désoxygénation et de contrôle du pH.

3.3. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES SÉLECTIONNÉES

- pression et débit vapeur à pleine puissance

Le générateur de vapeur est conçu pour générer, dans des conditions données de débit et de température du circuit primaire, la pression et le débit massique de vapeur spécifié à 100 % de charge nominale.

- capacité opérationnelle

Les générateurs de vapeur sont capables de remplir les fonctions requises en cas de PCC 1 à 4 et RRC-A, sauf lorsque le refroidissement du cœur n'est effectué que par le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) ou ses systèmes de secours.

- inventaire en eau du générateur de vapeur (réserve d'eau froide)

Le générateur de vapeur fournit au réacteur une réserve d'eau froide minimale (inventaire en eau du GV) pour assurer la mitigation de toutes les situations (RRC-A et PCC 1 à 4) en respectant les critères associés et en tenant compte des systèmes dédiés : système d'eau alimentaire principale (ARE), système d'eau alimentaire de démarrage et d'arrêt (AAD), système d'eau alimentaire de secours des GV (ASG), systèmes d'injection de sécurité (RIS-RA) et soupapes de sûreté du pressuriseur.

En particulier, le GV est conçu pour contenir un volume d'eau secondaire suffisant pour qu'en cas d'une perte complète de tous les systèmes d'eau alimentaires (ARE, AAD et ASG), l'assèchement du générateur de vapeur côté secondaire ne puisse pas se produire avant 30 minutes.

- volume total du générateur de vapeur (exigence relative au remplissage excessif)

Le générateur de vapeur sert de réservoir d'expansion aux systèmes d'alimentation en eau secondaire, protégeant ainsi les équipements vapeur contre une arrivée d'eau (y compris la turbine) après isolement de la source de sur-débit.

En cas de rupture complète et soudaine (rupture guillotine doublement débattue ou de surface équivalente) d'un ou de deux tubes du GV, la hauteur de refoulement des pompes ISMP est inférieure au point de consigne de pression des soupapes GV ce qui évite toute ouverture de ces vannes non isolées. De plus, le volume accru du générateur de vapeur côté secondaire (le volume libre au-dessus du niveau nominal passant de 61,5 m³ sur N4 à 83,3 m³) permet de recueillir le fluide s'écoulant du côté primaire vers le côté secondaire, sans risque de remplissage excessif pour le GV, en tenant compte en même temps de la capacité des dispositifs d'isolement des côtés primaire et secondaire et de la capacité des moyens de surveillance du circuit primaire. Il est à noter également que relativement au point de consigne de haut niveau GV, la ligne de charge du RCV (contrôle chimique et volumétrique) est isolée afin d'éviter un remplissage excessif du GV.

- équipement de séchage

La conception de l'équipement de séchage permet d'obtenir une vapeur dont la teneur en humidité ne dépasse pas 0,25% à la sortie du GV (en sortie de tuyère) dans les conditions normales de fonctionnement et la turbine fonctionnant avec des variations de charges par échelons ou des variations continues de la charge.

Des essais sur maquettes et des analyses thermohydrauliques ont permis de définir un nouveau modèle de séparateur qui est 1,5 fois plus large que celui du GV N4.

- hauteur relative des générateurs de vapeur par rapport à la cuve du réacteur

Les générateurs de vapeur sont installés à une hauteur par rapport à la cuve qui garantit que la vidange côté primaire du générateur de vapeur permette une inspection et/ou le bouchage de tubes sans abaisser le niveau d'eau dans la cuve en dessous du cœur du réacteur ou empêcher la circulation de fluide de refroidissement à l'arrêt.

- Les activités de contrôle du faisceau tubulaire (END) situées sur le chemin critique de l'arrêt seront réalisées en parallèle sur les quatre générateurs de vapeur, ce qui permet une réduction importante de leur durée globale. La réalisation des contrôles de tubes GV côté circuit primaire est prévue, à la conception, uniquement cœur déchargé sur le réacteur EPR. Durant ces opérations de contrôle, il est prévu de garantir un double isolement entre la piscine de désactivation et la piscine cuve en s'appuyant sur les vannes d'isolement du tube transfert ou les divers batardeaux et portes.

Afin de protéger les opérations de contrôle dans la boîte à eau des GV, des tapes d'obturation des tubulures primaires sont prévues à la conception.

La mise en place de tapes GV cœur chargé n'est pas autorisée sur le réacteur EPR à ce stade des études.

Sur une période de 60 ans, pour des besoins d'exploitation, la pose de tape GV cœur chargé n'est pas exclue. Un complément à la démonstration de sûreté vis-à-vis du risque de vidange des piscines serait apporté en préalable à la pose des tapes (voir section 9.1.3).

- purges du générateur de vapeur

Des drains sont mis en place côtés primaire et secondaire du GV. La géométrie du générateur de vapeur et l'emplacement de ces drains garantissent que les côtés primaire et secondaire peuvent être complètement vidangés en moins de huit heures quand le générateur de vapeur est en arrêt à froid et soumis à des chargements hydrostatiques. En dessous de cette température d'arrêt à froid, le système de purge est conçu pour assurer cette fonction de vidange des générateurs de vapeur.

- provisions pour le nettoyage du côté secondaire

Des précautions sont prises pour minimiser la formation de boues dans le GV (voir le [§ 4.4.](#) relativement à la conception thermohydraulique et le [§ 9.](#) vis-à-vis de la chimie secondaire).

Néanmoins, la partie inférieure du secondaire du GV est conçue pour pouvoir éliminer par lançage, si nécessaire, la boue qui se serait accumulée sur la plaque tubulaire dans les zones de faibles vitesses.


3.4. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET REMPLACEMENT

L'enceinte sous pression du générateur de vapeur a été conçue de manière à minimiser le nombre de soudures et à optimiser leur géométrie afin de faciliter l'inspection en service :

- Le fond supérieur et la tubulure de sortie de vapeur du ballon vapeur sont fabriqués à partir d'une seule pièce forgée.
- La virole conique est forgée et possède des extrémités cylindriques de longueur suffisante pour faciliter l'inspection des soudures de connexion.

De plus, le calorifugeage peut être retiré localement et des moyens permanents ou temporaires sont prévus pour accéder aux soudures.

Des mesures ont également été prises pour faciliter la réalisation des inspections nécessaires à la sécurité de l'appareil, notamment au niveau des internes du générateur de vapeur.

Du côté primaire, les béquilles support permettent d'accéder facilement au trou d'homme  équipant chaque compartiment de la boîte à eau. Un outillage spécial permet l'inspection de la surface interne de la boîte à eau en contact avec le fluide primaire, des soudures des tubes sur le revêtement de la plaque tubulaire et des tubes GV.

Du côté secondaire, une attention toute particulière a été portée à l'accès à la partie inférieure du faisceau tubulaire et à la plaque tubulaire :

- Huit trous de poing sont répartis tout autour de la virole secondaire.
- Deux trous d'œil sont diamétralement opposés sur la virole secondaire au niveau de la 6ème plaque entretoise.

Ceci permet d'effectuer tant du côté branche froide (économiseur) que du côté branche chaude :

- l'inspection visuelle de l'espace entre la plaque tubulaire et les deux demi-plaques de distribution et en particulier celle des pieds de tube,
- l'inspection visuelle de la face supérieure des deux demi-plaques de distribution,
- le nettoyage (notamment par lancement hydraulique) de la face secondaire de la plaque tubulaire.

La conception mécanique et thermohydraulique des internes inférieurs a été optimisée (géométrie des blocages de rue d'eau, conception du système de purge) pour faciliter les opérations de lancement des boues.

L'accès aux internes supérieurs à l'intérieur du ballon vapeur se fait grâce à un trou d'homme de grand diamètre □. De cet emplacement, il est également possible d'accéder aux barres anti-vibratoires (BAV) du faisceau tubulaire. Dans ce but, une trappe soudée a été installée dans l'enveloppe du faisceau.

De plus et bien que ces opérations de maintenance et de réparation ne soient pas prévues pour la durée de vie du GV, les chicanes du sécheur peuvent être remplacées via les trous d'homme secondaire situés dans la partie supérieure du générateur de vapeur. Elles sont maintenues en place par des vis vérin à l'intérieur de cadres en U. En desserrant les vis, le démontage est possible via les ouvertures de chaque cadre.

Un programme de surveillance (voir section 5.2.5) décrit les modalités pour la visite complète initiale sur site des générateurs de vapeur et la nature des examens non destructifs mis en œuvre afin de détecter les défauts préjudiciables à l'intégrité du matériel.

4. CONCEPTION THERMOHYDRAULIQUE

4.1. PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT

Le tableau [TAB-5.4.2.2](#) donne d'autres paramètres de fonctionnement non inclus dans la fiche technique du générateur de vapeur.

4.2. CRITÈRES THERMODYNAMIQUES

Le générateur de vapeur est conçu de telle manière qu'aucune oscillation du niveau à l'interface eau/vapeur ni aucune vibration des structures ne se produise au cours du fonctionnement.

Le taux de recirculation est défini comme étant le rapport entre le débit total traversant le faisceau tubulaire et le débit vapeur en sortie du générateur de vapeur. Il atteint □ lorsque le générateur de vapeur fonctionne à pleine puissance. Cette valeur constitue un bon compromis entre les efforts mis en jeu pour obtenir une vapeur aussi sèche que possible et un fonctionnement stable du générateur de vapeur. Ce taux de recirculation favorise également le comportement en transitoire du générateur de vapeur en minimisant la réduction du niveau d'eau en cas de transitoire important (déclenchement de la turbine ou arrêt d'urgence du réacteur) et permet de réduire les zones de faibles vitesses au-dessus de la face secondaire de la plaque tubulaire.

La teneur en humidité augmente linéairement avec la charge jusqu'à atteindre une valeur donnée appelée « break point » à partir de laquelle elle augmente très rapidement. Le système de séchage de la vapeur est conçu de telle manière que cette discontinuité se produise pour une charge au-delà du point de fonctionnement nominal du générateur de vapeur et que la teneur en humidité de la vapeur soit bien inférieure à 0,25 % à la tubulure de sortie du générateur de vapeur.

4.3. CONCEPTION THERMIQUE

La surface d'échange et la configuration du faisceau tubulaire retenues sont similaires à celles mises en œuvre dans le générateur de vapeur N4 et appartiennent donc à un large domaine de modèles qualifiés. Le diamètre de tube sélectionné [] fait partie des diamètres internationaux normalisés actuels et constitue un bon compromis entre la compacité, le comportement vibratoire et la fabrication. Le pas triangulaire [] émane du même argument relatif à la compacité, tout en offrant la possibilité de procéder à des nettoyages de très bonne qualité avec la technique conventionnelle de lançage des boues. Cela a été clairement prouvé lors des premières opérations de lançage effectuées pour les premières centrales N4 à CHOOZ et CIVAUX.

La justification de la possibilité d'obtenir la pression et le débit massique de vapeur nécessaire à pleine puissance dans les conditions requises de température et de débit du circuit primaire a été fait, en utilisant des corrélations et des modèles physiques qualifiés [].

L'absence d'oscillations du niveau d'eau à l'interface eau-vapeur a été montrée en utilisant les modèles physiques qualifiés d'après les résultats d'essais []. Ceci est obtenu en particulier grâce à un rapport approprié entre la perte de charge monophasique et la perte de charge totale dans la boucle de recirculation.

4.4. CONCEPTION HYDRAULIQUE

La conception hydraulique a été faite de manière à obtenir :

- une répartition de débit acceptable dans le secondaire du générateur de vapeur, particulièrement en ce qui concerne le risque de dépôt de boues, le phénomène d'érosion/corrosion et les vibrations du faisceau tubulaire,
- un inventaire en eau secondaire en accord avec les exigences relatives à la source froide.

Pour limiter l'accumulation possible de boues du côté secondaire et les risques consécutifs de fissuration par corrosion sous contraintes du faisceau tubulaire, on a veillé tout particulièrement à réduire autant que possible les zones de faible vitesse, particulièrement au-dessus de la plaque tubulaire.

Cela a été obtenu grâce à une conception adéquate des blocages de la rue d'eau et de la plaque de distribution. Il en résulte principalement qu'un nombre très faible de tubes [] peut être affecté en fonctionnement par un dépôt de boues, et se trouve en outre à proximité du centre de la rue d'eau, dans la même région que les prises du système de purge. Il faudra noter que ces mesures viennent en plus des mesures générales décrites dans le § 9., destinées à réduire la génération de boues dans le circuit secondaire.

Aucun problème spécifique en ce qui concerne l'érosion/corrosion n'est attendu grâce au choix des matériaux sélectionnés pour les systèmes de distribution d'eau alimentaire, les plaques entretoises de tubes, l'équipement de séchage et le système de purge.

Les vibrations du faisceau tubulaire sont traitées dans le § 4.5..

La masse d'eau secondaire [] en fonctionnement normal est en accord avec l'obligation d'avoir un temps minimum de 30 minutes avant que ne se produise l'assèchement du générateur de vapeur suite à la perte de tous les systèmes d'alimentation en eau.

L'évaluation des différences de température entre les tubes à la sortie du faisceau tubulaire du côté primaire, conduit à un ΔT maximum de 5°C, pleinement comparable à la valeur actuellement obtenue pour les générateurs de vapeur à tubes en U à circulation naturelle sans économiseur, possédant une géométrie de faisceau tubulaire et des paramètres de fonctionnement similaires. Ce ΔT provient principalement de la différence de longueur entre les tubes internes et les tubes externes du faisceau tubulaire.

4.5. VIBRATIONS DU FAISCEAU TUBULAIRE

Dans la conception des générateurs de vapeur, la possibilité d'une dégradation des tubes due à l'excitation mécanique où à l'excitation provoquée par le fluide est évaluée de manière approfondie. Cette évaluation comporte une analyse détaillée du système de supportage des tubes ainsi qu'un large programme de recherche avec des essais sur des modèles vibratoires.

Lors de l'évaluation des ruptures dues aux vibrations, il est tenu compte des sources d'excitation telles que celles générées par l'écoulement du fluide primaire dans les tubes, les vibrations d'origine mécanique et l'écoulement du fluide secondaire à l'extérieur des tubes. En fonctionnement normal, les effets de l'écoulement du fluide primaire à l'intérieur des tubes et les vibrations d'origine mécanique associées sont considérées comme étant négligeables et devant poser peu de problèmes. Donc, la source principale des vibrations des tubes est l'excitation hydrodynamique provenant du fluide secondaire à l'extérieur des tubes. En général, trois mécanismes de vibration ont été identifiés :

- détachement tourbillonnaire :

Le détachement tourbillonnaire ne provoque aucune vibration décelable du faisceau tubulaire. Cela est dû à de nombreuses raisons :

- L'écoulement turbulent dans le retour d'eau et à l'entrée du faisceau tubulaire empêche la formation des tourbillons de Von Karman.
- Les variations spatiales des vitesses d'écoulement transverse le long des tubes annulent la possibilité d'un détachement tourbillonnaire à une fréquence unique.
- Les composantes de vitesse d'écoulement axial et transverse existent sur les tubes. La composante d'écoulement axial annule les tourbillons de Von Karman.

- excitation fluide-élastique :

En ce qui concerne l'excitation fluide-élastique, le système de supportage du faisceau tubulaire a été conçu de manière à avoir une marge par rapport à l'instabilité des tubes supérieure à 2 selon le modèle Blevins-Connors en régime quasi-permanent, basé sur de nombreuses données expérimentales.

- turbulence :

Le niveau des réponses turbulentes, déterminé en utilisant un spectre de forces turbulentes enveloppe issu de résultats obtenus sur maquette pour divers fluides, est faible et la contribution des contraintes induites à la fatigue est négligeable.

5. MATÉRIAUX

5.1. PIÈCES DE L'ENCEINTE SOUS PRESSION

5.1.1. Matériaux de base

Tous les matériaux des pièces de l'enceinte sous pression utilisés pour les générateurs de vapeur sont sélectionnés et fabriqués conformément aux exigences de la section II du RCCM (voir sous-chapitre 1.6), à l'annexe 1 de l'arrêté ESPN et le cas échéant aux exigences complémentaires.

Ces matériaux ont été sélectionnés compte tenu de leurs caractéristiques mécaniques permettant d'aboutir à des épaisseurs de pièces raisonnables, de leur ductilité, de leur ténacité et de leur soudabilité.

Enceinte sous pression :

Le paragraphe B2000 concernant les composants de niveau 1 du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) s'applique.

L'acier ferritique faiblement allié [] est sélectionné pour l'ensemble de l'enceinte sous pression (hormis pour un des GV, dont la virole conique est constitué d'acier []) (voir le tableau [TAB-5.4.2.3](#)). On distingue les pièces forgées suivantes définissant l'enceinte sous pression :

- fond primaire qui comporte des tubulures intégrées,
- plaque tubulaire avec l'anneau de supportage et la virolette intégrés.

Lors du forgeage pour la plaque tubulaire, des précautions sont prises pendant la fabrication pour que la face revêtue (côté primaire) se situe côté pied du lingot.

- viroles droites,
- virole conique,
- dôme elliptique avec tubulure de sortie vapeur intégrée,
- tubulures et trous d'hommes de l'enceinte secondaire.

Matériau des tubes GV :

L'alliage Inconel 690 est sélectionné pour les tubes du faisceau tubulaire. Cet alliage Inconel 690 est actuellement utilisé dans le monde entier comme matériau de tubes GV.

Une spécification complémentaire est demandée sur sa teneur en cobalt. []

Les caractéristiques de ce matériau sont :

- la faible vitesse de corrosion généralisée en présence des fluides primaire et secondaire,
- la très bonne tenue à la corrosion sous contraintes côté primaire et côté secondaire,
- le faible taux de relâchement de produits de corrosion,
- la bonne soudabilité,
- des propriétés mécaniques et physiques satisfaisantes (conductibilité thermique et coefficient de dilatation).

Il a été montré que la résistance à la corrosion de l'alliage 690 est excellente que ce soit au travers du retour d'expérience des tranches (en 21 ans d'exploitation, aucune fissure due à la corrosion n'est apparue) ou grâce à de nombreux essais en laboratoire dans des conditions représentatives des parties primaire et secondaire.

L'alliage Inconel 690 a été testé pendant 10 ans en laboratoire et sélectionné par un nombre important d'exploitants. L'alliage Inconel 690 est utilisé sur des tranches depuis 1988 aux USA, 1989 à RINGHALS et 1990 à DAMPIERRE.

Plaque de partition :

La plaque de partition de la boîte à eau est en alliage 690.

Boulonnerie :

Pour les diamètres employés, les nuances retenues sont les aciers alliés [].

Les principaux matériaux utilisés sont résumés dans le tableau [TAB-5.4.2.3](#).

5.1.2. Élaboration et traitement thermique

Toutes les pièces sont fabriquées conformément aux exigences de la section II du RCCM (voir sous-chapitre 1.6), à l'annexe 1 de l'arrêté ESPN et le cas échéant aux exigences complémentaires.

Enceinte sous pression :

□

Les pièces subissent après forgeage un traitement de dégazage de manière à garantir l'absence de défauts dus à l'hydrogène.

□

Tubes de GV :

□

Boulonnerie :

Après forgeage ou laminage, les barres subissent le traitement thermique de qualité □

□

5.1.3. Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques sont vérifiées, pour chaque pièce, après traitement thermique de qualité.

Enceinte à Pression :

Les valeurs spécifiées des caractéristiques mécaniques sont conformes aux exigences de la section II du RCCM (voir sous-chapitre 1.6), à l'annexe 1 de l'arrêté ESPN et le cas échéant aux exigences complémentaires.

□

□

□

□

□

Tubes de GV :

Les valeurs spécifiées des caractéristiques mécaniques, après traitement thermique complémentaire final, sont conformes aux exigences de la section II du RCCM et □ à l'annexe 1 de l'arrêté ESPN.

Boulonnerie :

Les valeurs spécifiées des caractéristiques mécaniques sont conformes aux exigences de la section II du RCCM et □ à l'annexe 1 de l'arrêté ESPN.

5.1.4. Contrôles non destructifs

Les contrôles non destructifs sont adaptés à la forme du produit concerné :

Enceinte sous pression :

- Fond primaire
Contrôle par ultrasons à 100% du volume et contrôle par magnétoscopie ou ressuage à 100% de la surface.
- Plaque tubulaire avec l'anneau de supportage et la virolette intégrés
Contrôle par ultrasons à 100% du volume et contrôle par magnétoscopie ou ressuage à 100% de la surface.
- Viroles droites et conique
Contrôle par ultrasons à 100% du volume et contrôle par ressuage ou par magnétoscopie à 100% de la surface.
- Dôme elliptique avec tubulure de sortie vapeur intégrée
Contrôle par ultrasons à 100% du volume et contrôle par magnétoscopie ou ressuage à 100% de la surface.

Tubes de GV :

Contrôle par ultrasons et courants de Foucault sur toute la longueur des tubes avant cintrage.

5.2. AUTRES MATÉRIAUX PRINCIPAUX SÉLECTIONNÉSPlaques entretoises

Les plaques entretoises (PE) sont en acier inoxydable [] résistant à la corrosion et comportent un brochage trifolié qui offre une surface d'écoulement adjacente à la paroi extérieure des tubes supérieure à celle des plaques entretoises percées.

Les blocs support périphériques et les tirants stabilisent également les plaques et éliminent ainsi tout risque d'usure due au frottement ou due aux vibrations induites par l'écoulement du fluide dans les zones de contact avec les plaques entretoises.

BAV

Les 4 jeux de barres anti-vibratoires (BAV) sont en acier inoxydable [].

Tirants

Les tirants de fixation des plaques entretoises sont réalisés en acier inoxydable [].

5.3. MATÉRIAUX D'APPORT

L'approvisionnement des matériaux d'apport est fait conformément à l'annexe 1 de l'arrêté ESPN, aux exigences de la section IV du RCCM, aux fiches techniques de qualification des matériaux d'apport et, le cas échéant, aux exigences complémentaires.

6. CONCEPTION MÉCANIQUE

De manière générale, la conception mécanique du générateur de vapeur est faite en deux étapes :

- Le dimensionnement de l'enceinte sous pression, pour définir l'implantation générale du composant et ses cotes principales. La conception mécanique des enceintes sous pression du GV avec les circuits primaire et secondaire est conforme aux exigences du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) niveau 1.
- La vérification du dimensionnement de l'enceinte est faite dans le cadre du dossier d'analyse du comportement DAC. Cette analyse permet de vérifier la conception des principaux sous-ensembles en justifiant leur capacité à résister en toutes situations aux chargements ou combinaisons de transitoires correspondants prévus pour la durée de vie du composant (traitée

dans la section 3.6.1), y compris les épreuves hydrauliques primaires et secondaires rappelées dans le § 10. et le tableau TAB-5.4.2.1.

6.1. CONDITIONS D'ÉTUDES POUR LE COMPORTEMENT MÉCANIQUE

6.1.1. Conditions d'études pour le dimensionnement

□

6.1.2. Conditions d'études pour l'analyse du comportement

Les chargements ou combinaisons de transitoires prévus pour la durée de vie du composant sont traités dans la section 3.6.1 et sont rappelés ci-dessous.

D'une façon générale, on trouve deux grandes catégories de sollicitations :

- les transitoires de pression et de température,
- les efforts mécaniques aux liaisons avec d'autres équipements, auxquels sont associées les accélérations de la pesanteur et les sollicitations dues aux séismes.

1) Transitoires de pression et de température

Les dossiers de situations transmis à la DEP (service des mines) concernent à la fois les enceintes primaires et secondaires.

2) Efforts mécaniques

Les efforts pris en compte viennent des calculs de tuyauteries. Pour chaque tubulure, les torseurs suivants sont déterminés :

- torseurs dus au fonctionnement normal (poids, expansion thermique, pression),
- torseurs dus au séisme raisonnablement prévisible,
- torseurs dus au séisme de dimensionnement,
- torseurs dus aux ruptures de tuyauteries (primaire ou secondaire),
- torseurs dus aux déplacements relatifs GV / traversée enceinte BR (sur les tubulures secondaires).

6.2. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT

Les calculs de dimensionnement ont été faits pour déterminer l'épaisseur minimale acceptable des enceintes sous pression et des tubulures ainsi que pour démontrer le dimensionnement des tubes dans les conditions de référence, conformément au chapitre B 3000 (composants de niveau 1) du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6)

Pour le compartiment secondaire, la corrosion est prise en compte.

Les goujons sont également calculés à la pression de calcul en tenant compte essentiellement de l'effet de fond et de la réaction des joints.

De plus, les renforcements des ouvertures sont calculés conformément au □ RCC-M.

Des calculs sur ordinateur, □ sont effectués pour étudier les éléments suivants :

- les tubulures,
- la virole de transition tronconique,
- la plaque tubulaire.

6.3. CALCULS POUR LE DOSSIER D'ANALYSE DU COMPORTEMENT

L'objet du Dossier d'Analyse du Comportement (DAC) d'une enceinte sous pression est de démontrer l'aptitude à l'emploi auquel elle est destinée.

En fait, par souci d'homogénéité et de conservatisme, les deux enceintes du GV sont étudiées selon les exigences du RCCM pour les enceintes de niveau 1. Dans ces conditions, le DAC montre que le récipient analysé ne subit aucun des dommages suivants :

- déformation excessive,
- instabilité plastique,
- instabilité élastique ou élastoplastique,
- déformation progressive,
- fatigue (fissuration progressive),
- rupture brutale.

L'analyse est effectuée zone par zone, c'est-à-dire que l'on examine séparément toutes les zones les plus sollicitées du générateur de vapeur. Les différentes zones étudiées sont présentées sur la figure [FIG-5.4.2.6](#).

Les principaux résultats de l'analyse sont donnés dans le dossier d'analyse du comportement. Ils montrent que l'intégrité structurale des générateurs de vapeur est assurée pour toutes les situations.

L'analyse est faite suivant la catégorie de situations (de calcul, normales et perturbées, exceptionnelles, hautement improbables, d'essais).

Suivant la catégorie de situations sont recherchées tout ou partie des quantités suivantes :

- intensité de contraintes primaires de membrane (1),
- intensité de contraintes primaires de membrane + flexion linéarisée (1),
- variation des intensités de contraintes totales (pour la détermination du facteur d'usage),
- variation des intensités de contraintes primaires + secondaires (membrane + flexion linéarisée).

Par ailleurs, une analyse du risque de rupture brutale est effectuée pour certaines zones sélectionnées.

(1) ou contraintes équivalentes

6.4. CONCEPTION DES SOUS-ENSEMBLES

Les caractéristiques suivantes ont été appliquées, en se basant sur le retour d'expérience des centrales françaises, allemandes et internationales :

- conception de la jonction tube / plaque tubulaire

Les tubes sont expansés sur toute la hauteur de la plaque tubulaire et soudés sur le côté primaire de la plaque tubulaire.

L'expansion des tubes s'effectue avec un procédé hydraulique à haute pression en une étape.

- système de distribution d'eau alimentaire :
 - Le système d'alimentation en eau principal et le système d'alimentation de secours sont séparés (2 tubulures et 2 tores).
 - Les systèmes de distribution d'eau sont reliés aux tubulures d'eau alimentaire par des connexions étanches.

- Des dispositions sont prises pour limiter la stratification thermique dans les zones de la tubulure d'eau alimentaire (implantation de la tubulure dans la virole conique et sous le tore d'eau alimentaire).

- conception des internes inférieurs et supérieurs

Les internes inférieurs (système de supportage des tubes, enveloppes du faisceau et supports associés, équipements installés au-dessus de la plaque tubulaire) et les internes supérieurs (cyclones, système d'alimentation en eau principal et système d'alimentation de secours, sécheurs) sont conçus de manière à permettre une libre dilatation thermique entre eux, ainsi qu'entre eux et l'enveloppe de faisceau et entre eux et l'enceinte de pression du GV dans le cas de situations PCC-1 à 3.

6.5. CONCEPTION RELATIVE AUX RUPTURES DE TUYAUTERIE ET AUX SÉISMES

Le générateur de vapeur et ses internes sont conçus pour résister aux chargements permanents et aux chargements dynamiques qui pourraient résulter d'un séisme ou d'une rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie connectée aux lignes primaires principales ou à la dépressurisation provoquée par une rupture de tuyauterie vapeur (RTV) ou par une rupture de tuyauterie d'eau alimentaire. L'intégrité des tubes et du supportage de tubes est démontrée pour toutes ces situations.

7. ÉVALUATION DE SÛRETÉ

Les analyses de sûreté prenant en compte la conception du générateur de vapeur sont fournies dans les chapitres d'étude des accidents (voir chapitre 15 et chapitre 19).

8. FABRICATION

8.1. RÉALISATION DE LA PARTIE INFÉRIEURE

□

8.2. RÉALISATION DE LA PARTIE SUPÉRIEURE

L'enveloppe est constituée par deux viroles □.

Parallèlement, le fond elliptique a été équipé de l'embout de tubulure sortie vapeur. □

Les équipements internes de séchage et de séparation sont fabriqués séparément. Ils sont ensuite introduits et fixés sur des goussets (ou jupe) prévus à cet effet.

8.3. ASSEMBLAGE FINAL

Les parties inférieures et supérieures de l'enceinte secondaire sont assemblées par soudage en usine selon les spécifications du RCC-M.

□

8.4. POINTS PARTICULIERS DE FABRICATION

□

8.5. CONTRÔLES DE FABRICATION

Les générateurs de vapeur sont contrôlés et testés conformément à la section III « Méthodes de contrôle » et IV « Soudage » du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

Les soudures des pièces soumises à la pression sont contrôlées suivant les exigences du RCC-M niveau 1 dont le programme de contrôle des principales opérations est donné au chapitre S 7000.

La liste des principaux contrôles effectués est fournie au tableau [TAB-5.4.2.4](#).

Lors des épreuves hydrauliques, les exigences relatives à la propreté et la qualité de l'eau sont celles du chapitre B 5000 du code RCC-M.

8.6. SYNTHÈSE DE LA FABRICATION

Un dossier de référence contenant l'ensemble des résultats et des procès-verbaux des contrôles de fabrication est constitué.

9. CONTRAINTES CHIMIQUES DU CÔTÉ SECONDAIRE PROVENANT DU GV – MATÉRIAUX ET MODES DE FONCTIONNEMENT

Le traitement chimique de l'eau du côté secondaire est conçu pour :

- minimiser la corrosion généralisée, en particulier dans le générateur de vapeur où les impuretés provenant du circuit secondaire peuvent se concentrer,
- contrôler la formation de boues dans le générateur de vapeur,
- minimiser le dépôt sur la surface d'échange thermique,
- minimiser la probabilité de formation d'acides ou de bases libres,
- éviter la corrosion localisée.

Ces objectifs sont atteints grâce à une sélection appropriée des matériaux conformément aux spécifications du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6 et le [§ 5](#), paragraphe sur les matériaux et les propriétés des matériaux) et à un contrôle chimique strict.

La spécification relative au conditionnement chimique de l'eau du circuit secondaire (voir section 5.2.2) décrit le principe choisi pour obtenir un contrôle chimique efficace dans tout le circuit secondaire.

10. ÉPREUVE HYDRAULIQUE

Les épreuves hydrauliques des enceintes sous pression du côté primaire et secondaire sont réalisées en usine conformément aux exigences du RCC-M § B 5000.

Le générateur est placé sur une station d'épreuve. Des dispositifs d'obturation sont placés sur l'ensemble des tubulures.

□

Des examens visuels complets des surfaces extérieures de l'enceinte primaire et secondaire sont effectués avant épreuve, à la pression d'épreuve et après le retour à zéro de la pression afin de vérifier l'absence de fuite (ailleurs qu'au niveau des joints d'étanchéité), de défectuosité ou de déformation rémanente.

□

TAB-5.4.2.1 FICHE TECHNIQUE DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

UNITES

CARACTÉRISTIQUES OPÉRATIONNELLES À 100% DE LA PUISSANCE NOMINALE (puissance chaudière 4500 MWth)

- Nombre de GV		4
- Type		Circulation naturelle avec économiseur axial
- Paramètres de fonctionnement primaires		
□		
□	□	□
□	□	□
□	□	□
. Puissance échangée (débit TH, BE ou ME) par GV	MWth	1131
. Température d'entrée (sans bouchage ni encrassement) :		
* TH	°C	329,8
□	□	□
□	□	□
. Température de sortie (sans bouchage ni encrassement) :		
* TH	°C	295,4
□	□	□
□	□	□
. Pression de fonctionnement (intérieur des tubes)	MPa abs	15,5
□		
□	□	□
□	□	□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.2

PAGE 22/36

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

FICHE TECHNIQUE DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR (SUITE)

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

	UNITES	
- Paramètres de fonctionnement secondaires (sans bouchage ni encrassement) :		
. Pression de saturation (débit TH, BE ou ME)	MPa abs	7,8
□	□	□
□	□	□
. Teneur en humidité à la sortie du GV	%	≤ 0,25
. Température de l'eau alimentaire	°C	230
□		
□		
□	□	□
□	□	□
- Côté secondaire :		
□	□	□
□	□	□
□		
□		
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□		□
□		□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.2

PAGE 25/36

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□

□

□

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.2

PAGE 26/36

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FICHE TECHNIQUE DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR (SUITE)

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR		
	UNITES	
CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES ET MASSES (suite)		
□		
□	□	□
□	□	□
□		
□		□
□	□	□
□		
□	□	□
□		
□	□	□
□	□	□

**TAB-5.4.2.2 PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT
SUPPLÉMENTAIRES**

□

**TAB-5.4.2.3 PRINCIPAUX MATÉRIAUX SÉLECTIONNÉS
SUR LE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR**

□

**TAB-5.4.2.4 GÉNÉRATEUR DE VAPEUR- LISTE DES
PRINCIPAUX CONTRÔLES EFFECTUÉS LORS DE
L'APPROVISIONNEMENT DES COMPOSANTS ET EN
COURS DE FABRICATION**

□

FIG-5.4.2.1 VUE EXTERNE – PRINCIPALES DIMENSIONS

□

FIG-5.4.2.2 VUE GÉNÉRALE - POSITION DES ÉLÉMENTS

□

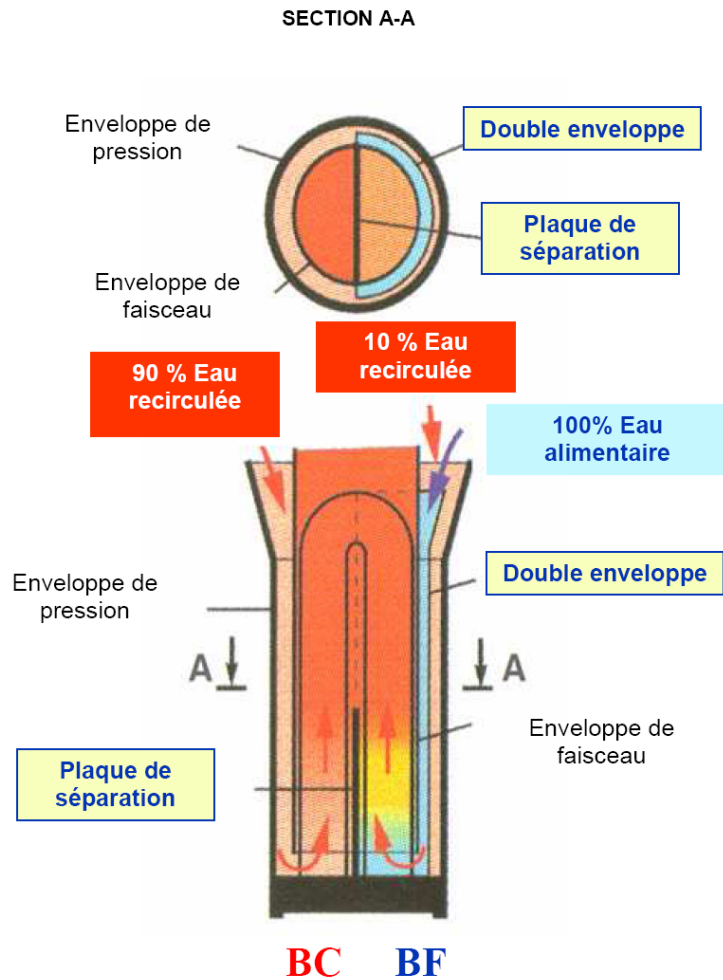
FIG-5.4.2.3 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN GV À ÉCONOMISEUR AXIAL

FIG-5.4.2.4 COUPE ET DÉTAILS DES INTERNES SUPÉRIEURS

□

**FIG-5.4.2.5 DÉTAILS ASSEMBLAGE FAISCEAU ET COUPES À
DIFFÉRENTS NIVEAUX**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.2

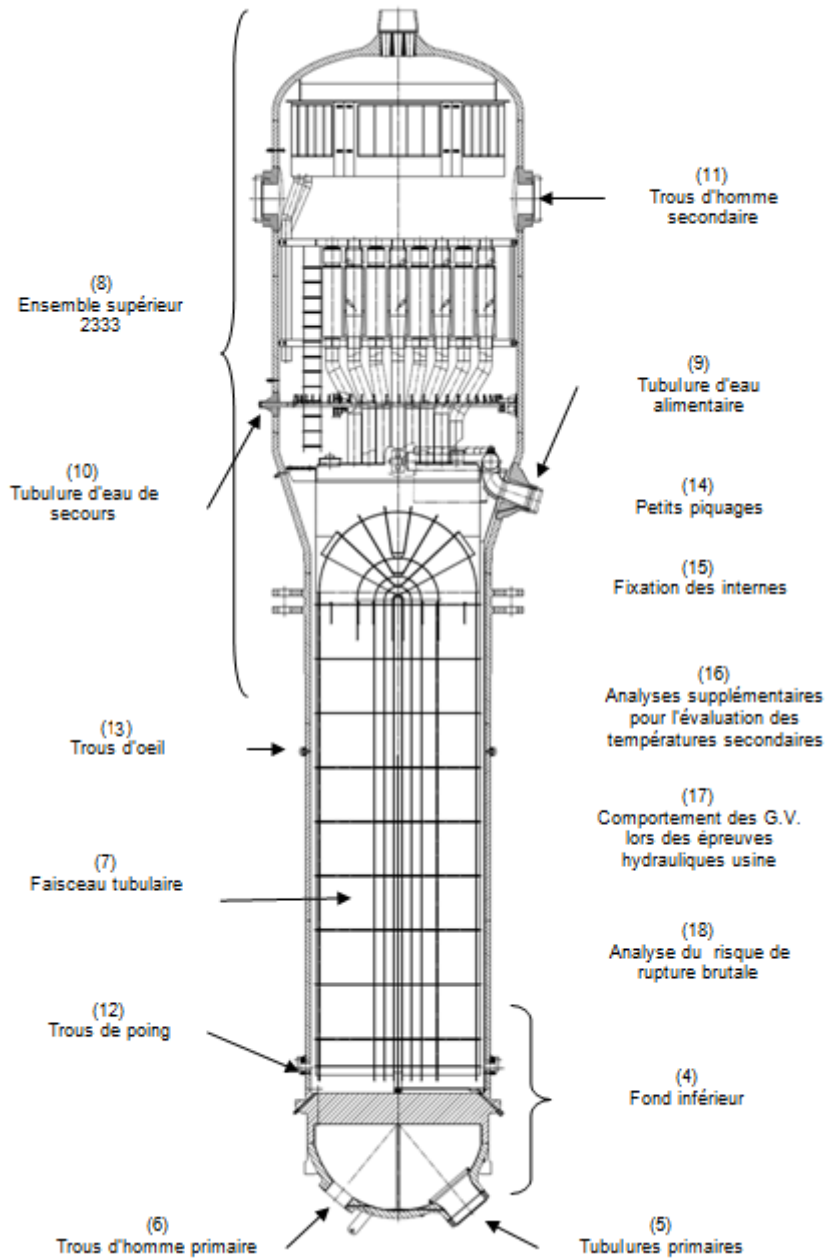
PAGE 35/36

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

FIG-5.4.2.6 ZONES ÉTUDIÉES DU DAC



SOMMAIRE

.5.4.3 TUYAUTERIES PRIMAIRES	3
1. DESCRIPTION	3
2. CONCEPTION DES SOUS-ENSEMBLES (PIQUAGES ET MANCHETTES)	4
3. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT	5
4. MÉTHODES ET OUTILS POUR L'ANALYSE DES CONTRAINTES	5
4.1. CONDITIONS DE CHARGE	5
4.2. CHARGES UTILISÉES POUR L'ANALYSE DES CONTRAINTES	6
4.3. OUTILS POUR L'ANALYSE DES CONTRAINTES	6
5. CALCULS DE CONTRAINTES	7
5.1. CONTRAINTES PRIMAIRES	7
5.2. ANALYSE À LA FATIGUE	7
6. CHOIX DES MATÉRIAUX	7
6.1. MATÉRIAU DE BASE	7
6.2. MATÉRIAU D'APPORT	8
6.3. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES	9
7. PROCÉDÉ DE FABRICATION DES TUYAUTERIES PRIMAIRES PRINCIPALES ET DE LA LIGNE D'EXPANSION	9
8. ÉPREUVE HYDRAULIQUE	10
9. CONTRÔLABILITÉ / INSPECTABILITÉ	11
9.1. AU COURS DE LA FABRICATION : CONTRÔLABILITÉ	11
9.2. AU COURS DE L'EXPLOITATION : INSPECTABILITÉ	12

TABLEAUX :

TAB-5.4.3.1 BRANCHES CHAUDES - PARTIE COURANTE	13
TAB-5.4.3.2 BRANCHES EN U - PARTIE COURANTE.....	14
TAB-5.4.3.3 BRANCHES FROIDES - PARTIE COURANTE	15
TAB-5.4.3.4 LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR - PARTIE COURANTE.....	16
TAB-5.4.3.5 ANALYSE CHIMIQUE SUR COULÉE	17
TAB-5.4.3.6 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX DE BASE POUR TUYAUTERIES PRIMAIRES PRINCIPALES FORGÉES ET LIGNE D'EXPANSION	18
TAB-5.4.3.7 INSPECTABILITÉ DE LA BOUCLE PRIMAIRE	19
TAB-5.4.3.8 INSPECTABILITÉ DE LIGNE D'EXPANSION.....	20

FIGURES :

FIG-5.4.3.1 BOUCLE PRIMAIRE AVEC POSITION DES SOUDURES (HI, UI, CI)	21
FIG-5.4.3.2 LIGNE D'EXPANSION	22
FIG-5.4.3.3 BOUCLES PRIMAIRES.....	23
FIG-5.4.3.4 LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR.....	24

.5.4.3 TUYAUTERIES PRIMAIRES

Cette section décrit les tuyauteries primaires principales et la ligne d'expansion du réacteur EPR. Le matériau austénitique forgé est pris comme solution de référence¹.

1. DESCRIPTION

Les tuyauteries des quatre boucles primaires et de la ligne d'expansion sont installées dans le bâtiment réacteur et font partie du circuit primaire principal (CPP) appartenant à la chaudière nucléaire.

La tuyauterie primaire amène le réfrigérant primaire de la cuve du réacteur aux générateurs de vapeur, puis aux pompes primaires, le fluide étant ensuite ramené vers la cuve.

La ligne d'expansion relie la branche chaude de la boucle 3 et le pressuriseur. Elle est conçue pour éviter la stratification en régime continu.

Il y a quatre boucles primaires, chacune comportant :

- une branche chaude (BC),
- une branche en U (BU),
- une branche froide (BF).

Des piquages et bossages sont montés sur chaque branche pour des lignes auxiliaires et des lignes d'instrumentation.

Branche chaude (BC) (voir [FIG-5.4.3.1](#))

Chaque branche chaude comporte deux parties séparées par une soudure (en allant de la cuve du réacteur vers le générateur de vapeur) :

- un tronçon droit □ (H1 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un coude à □,
- un tronçon droit □ (H2 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un coude à □,
- un tronçon droit □ (H3 sur la [FIG-5.4.3.1](#)).

Branche en U (BU) (voir [FIG-5.4.3.1](#))

Chaque branche en U comporte 3 parties séparées par deux soudures (en allant du générateur de vapeur vers la pompe primaire) :

- un tronçon droit de □ (U1 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un coude à □,
- un tronçon droit □ (U2 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un tronçon droit □ (U2 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un coude à □,
- un tronçon droit □ (U3 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un tronçon droit □ (U3 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),

1. - Les coudes sont des coudes soit cintrés par induction, soit usinés à partir d'une pièce forgée et forée.
- Les gros piquages sont intégrés de forge.

- un coude [\[\]](#),
- un tronçon droit [\[\]](#) (U4 sur la [FIG-5.4.3.1](#)).

Branche froide (BF) (voir [FIG-5.4.3.1](#))

Chaque branche froide est réalisée en un tronçon monobloc qui comporte (en allant de la pompe primaire vers la cuve du réacteur) :

- un tronçon droit [\[\]](#) (C1 sur la [FIG-5.4.3.1](#)),
- un coude [\[\]](#),
- un tronçon droit [\[\]](#) (C2 sur la [FIG-5.4.3.1](#)).

Dimensions

Les [TAB-5.4.3.1](#) à [TAB-5.4.3.3](#) donnent les dimensions complémentaires pour les trois types de branches (dimensions nominales).

Un diamètre intérieur [\[\]](#) a été choisi pour les BF, BC et BU principalement en raison de la minimisation de la perte de charge dans les tuyauteries primaires principales et pour réduire la vitesse d'écoulement.

La [FIG-5.4.3.3](#) liste l'ensemble des systèmes connectés aux boucles primaires.

Tuyauterie de la ligne d'expansion (voir [FIG-5.4.3.2](#))

La ligne d'expansion est composée de 7 tronçons en acier inoxydable austénitique, entièrement forgés et sans soudure. [\[\]](#) Le [TAB-5.4.3.4](#) donne des dimensions supplémentaires.

Classement de sûreté

Les tuyauteries primaires jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

2. CONCEPTION DES SOUS-ENSEMBLES (PIQUAGES ET MANCHETTES)**Conception générale**

Comme base de la conception, la branche chaude (BC) est forgée en deux parties, dont un coude entrée GV cintré.

La branche froide (BF) est forgée entièrement monobloc, avec un coude entrée cuve usiné à partir de la pièce forgée.

La branche en U (BU) est forgée en trois parties, principalement pour faciliter le montage.

Des soudures bimétalliques faites en atelier sont nécessaires à la jonction avec les composants en acier faiblement allié (voir paragraphe 7 de la section 5.3.1 pour les soudures bimétalliques de la cuve).

Chaque soudure bimétallique est associée par l'intermédiaire d'un embout de sécurité à une soudure homogène réalisée sur site.

La soudure entre une ligne connectée et la tuyauterie primaire principale est une soudure homogène.

Conception des piquages

Gros piquages (DN > 150)

Ces piquages sont forgés intégralement avec les tuyauteries primaires principales. Ils sont usinés après forgeage de la tuyauterie.

Deux ou trois gros piquages sont obtenus par usinage d'un même collier sur chaque boucle.

Petits piquages (DN < 150)

Les petits piquages et les bossages sont rapportés par soudage, sauf le piquage primaire RCV de la ligne de charge qui est d'une seule pièce avec la tuyauterie primaire principale (intégré de forge), étant donné le retour d'expérience concernant les zones de mélange.

Manchettes thermiques

Si l'analyse de fatigue d'un piquage conduit à un facteur d'usage cumulé dépassant les critères du paragraphe B3000 du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) ou en cas de chargements locaux qui seraient mal caractérisés, une manchette thermique sera installée pour le protéger. La manchette est usinée à partir d'une pièce forgée intermédiaire soudée en atelier à la tubulure.

Sur la base du retour d'expérience, seuls les deux piquages de charge RCV nécessitent l'installation d'une manchette thermique dépassante, pour supprimer tout risque lié au phénomène de « zone de mélange » et garantir l'absence de fissuration par fatigue du bec du piquage.

Grâce à la manchette thermique dépassante, les fluctuations de température sont éloignées de la paroi de la branche. En effet, la zone de mélange située en sortie de manchette se trouve directement dans la branche froide. La paroi interne du piquage est ainsi protégée de fait par un « matelas » d'eau chaude qui contourne la manchette.

3. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT

Des calculs de dimensionnement sont effectués pour la tuyauterie primaire, la ligne d'expansion, les piquages intégrés et les piquages soudés conformément au code RCC-M paragraphe B3000 (voir sous-chapitre 1.6).

La zone de renforcement se trouve côté piquage, pas côté tuyau.

Les épaisseurs des parties droites et les épaisseurs à l'extrados des coudes sont déterminées conformément au paragraphe B3600 de la spécification RCC-M. Les épaisseurs des coudes sont augmentées pour assurer un niveau de contrainte convenable.

En outre, le respect des règles de renforcement des ouvertures, conformément au paragraphe B3600 du RCC-M, a été vérifié par le calcul pour les piquages à 90° ou incliné à 45° intégrés à la tuyauterie.

Exclusion de rupture

La technologie des tuyauteries primaires principales est conforme aux exigences de l'hypothèse d'Exclusion de Rupture (ou Break Preclusion), telle que définie dans le sous-chapitre 5.2.

4. MÉTHODES ET OUTILS POUR L'ANALYSE DES CONTRAINTES

Les tuyauteries du circuit primaire sont analysées avec des charges correspondant aux situations raisonnablement prévisibles (situations normales et perturbées et aux situations exceptionnelles) et aux situations hautement improbables (situations accidentelles). L'analyse des contraintes dépend du mode de fonctionnement considéré.

4.1. CONDITIONS DE CHARGE

Les charges prises en compte pour l'analyse de contraintes sont listées dans la section 3.6.1.

4.2. CHARGES UTILISÉES POUR L'ANALYSE DES CONTRAINTES

Les charges utilisées pour l'analyse des contraintes dépendent des situations de fonctionnement considérées puis du niveau des critères.

Conformément aux exigences RCC-M (voir sous-chapitre 1.6), les charges sont classées en 4 catégories :

- situation de référence (1^{ère} catégorie),
- situations normales et perturbées (2^{ème} catégorie),
- situations exceptionnelles (3^{ème} catégorie),
- situations accidentelles (4^{ème} catégorie).

4.3. OUTILS POUR L'ANALYSE DES CONTRAINTES

Les calculs sont effectués conformément aux sections B3600 et B3200 du code RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

Les exigences du code concernant les amplitudes de variation des contraintes primaires plus secondaires et les contraintes totales nécessitent le calcul des fluctuations de température dans l'épaisseur de la paroi du composant.

Les transitoires tels que définis dans la section 3.6.1 sont utilisés pour calculer ces fluctuations. □

La surface extérieure des tuyauteries est supposée être adiabatique tandis que la surface intérieure est assujettie à la température du fluide. Les fluctuations de température du fluide de refroidissement donnent une répartition de température dans l'épaisseur de la paroi de la tuyauterie qui varie avec le temps. Cette répartition de température est subdivisée en quatre parties conformément aux exigences RCC-M :

- TA est la température moyenne, déterminée dans la zone A de la discontinuité, à travers la paroi du tuyau qui contribue aux charges de dilatation générales,
- Le gradient thermique linéaire radial qui contribue au moment de flexion à travers la paroi ($\Delta T1$),
- Le gradient thermique non linéaire radial ($\Delta T2$) qui contribue à la contrainte de pointe associée au cisaillement de la surface,
- La température de discontinuité (TA - TB) représente la différence de température moyenne dans les sections transversales de chaque côté de la discontinuité (TB est la température moyenne déterminée dans la zone B de la discontinuité).

Chaque transitoire est décrit par au moins deux états de chargement représentant l'état de contrainte maximum et minimum lors de chaque transitoire. L'élaboration des états de chargement s'effectue en combinant ce qui suit pour obtenir l'état de contrainte maximum (minimum) lors de chaque transitoire.

- $\Delta T1$,
- $\Delta T2$,
- $\alpha_{ATA} - \alpha_{BTB}$
(α_A et α_B sont les coefficients de dilatation des sections situées de chaque côté (A et B) de la discontinuité de la géométrie ou de matériau),
- Charges de moment dues à TA,
- Charges de pression.

Les amplitudes de variation de contraintes primaires plus secondaires, et les amplitudes de variation de contraintes totales sont ensuite calculées à l'aide des équations du code RCC-M section B3653. Ces amplitudes de variation de contraintes peuvent également être calculées à l'aide de méthodes de type éléments finis.

Pour toutes les combinaisons d'états de chargement concernées, les intensités de contrainte primaire plus secondaire et de contrainte de pointe, ainsi que les facteurs de concentration élastoplastique (K_e) et les facteurs d'usage cumulé (FUC), sont calculés selon la spécification RCC-M section B3650.

Le facteur d'usage incrémentiel est calculé pour la combinaison d'états de chargement conduisant à la variation d'intensité de contrainte alternée la plus grande. La combinaison la plus sévère suivante est alors déterminée et le facteur d'usage incrémentiel est calculé. Cette procédure est réitérée jusqu'à ce que tous les cas de charge concernant la fatigue aient été traités. Le facteur d'usage cumulé total en un point donné est la somme des facteurs d'usage incrémentiels.

5. CALCULS DE CONTRAINTES

Une analyse simplifiée des contraintes a été effectuée pour les soudures, les coudes et les piquages.

5.1. CONTRAINTES PRIMAIRES

Les calculs, selon l'équation (9) de la section B3600 du RCC-M (voir sous-chapitre 1.6), montrent que, avec les chargements retenus, les critères définis dans le document RCC-M pour les contraintes primaires sont respectés dans chaque zone de la boucle primaire.

5.2. ANALYSE À LA FATIGUE

Les calculs, selon l'équation (12) de la section B3600 du document RCC-M (voir sous-chapitre 1.6), montrent que, avec les chargements retenus (moments de dilatation thermique), les critères définis dans le document RCC-M pour les contraintes secondaires sont respectés dans chaque zone de la boucle primaire.

À partir de la géométrie, des situations et charges appliquées aux tuyauteries, il est possible de conclure que toutes les soudures circonférentielles des boucles primaires présentent un facteur d'usage inférieur à 0,1. Certaines zones spécifiques peuvent avoir une valeur de facteur d'usage $0,5 < FU < 1$, tout en restant acceptables du point de vue du dommage de fatigue.

Une seule zone présente une manchette thermique : chacun des deux piquages de charge RCV en BF2 et BF4 a une manchette thermique dépassante, pour supprimer tout risque lié au phénomène de « zone de mélange » et garantir l'absence de fissuration par fatigue du bec du piquage.

6. CHOIX DES MATÉRIAUX

6.1. MATÉRIAU DE BASE

Le choix du matériau de base résulte d'un important retour d'expérience et de l'amélioration de la fabrication, en tenant compte des exigences suivantes, conformément aux règles techniques établies pour la fabrication du circuit primaire :

- Excellentes propriétés mécaniques avec une marge importante (en accord avec les exigences de conception),
- Bonne ténacité,
- Résistance à la corrosion,
- Fabrication facile et bonne soudabilité,
- Contrôles de la fabrication et inspections en service,
- Réduction importante du nombre des soudures,
- Remplacement facile lors de longue période de fonctionnement (si nécessaire avant la fin de la durée de vie de 60 ans).

Toutes ces exigences sont respectées lorsqu'on utilise des branches forgées, avec des piquages et des coudes forgés, en aciers inoxydables austénitiques à faible teneur en carbone [1].

Ces matériaux présentent les avantages suivants :

- Uniformité du matériau pour toute la tuyauterie (y compris toutes les lignes connectées),
- Ténacité élevée dans toutes les situations (même en cas d'injection d'eau froide),
- Soudage facile sur site, aucun traitement thermique nécessaire,
- Connexion facile sur site de nombreuses tuyauteries auxiliaires et de la ligne d'expansion,
- Fabrication et contrôles non destructifs associés améliorés,
- Modalités de fabrication permettant d'obtenir une structure métallographique homogène et un indice de grosseur de grain compatibles avec ceux requis pour les contrôles par ultrasons.

Nuance :

Les nuances des matériaux utilisés pour la construction des tuyauteries primaires principales et de la ligne d'expansion sont choisies de manière à minimiser la corrosion-érosion et à garantir la compatibilité avec le milieu d'utilisation.

Les matériaux spécifiés sont des aciers inoxydables austénitiques.

Pour les tuyauteries primaires principales, une seule nuance est retenue [1].

Pour la ligne d'expansion, une autre nuance est utilisée [1].

Pour les piquages soudés et les manchettes thermiques dépassantes, la nuance est identique à celle des branches primaires [1].

Les spécifications chimiques sur coulée pour ces deux nuances sont fournies dans le [TAB-5.4.3.5](#).

Ces nuances sont à très faible teneur en carbone et ne nécessitent donc aucune stabilisation. Les pièces ainsi réalisées sont obtenues par corroyage, avec un taux de corroyage visé [1] qui donne des grains généralement fins et une bonne homogénéité des propriétés mécaniques. Elles sont livrées déjà traitées thermiquement afin d'éliminer tout risque de corrosion intergranulaire en service.

Les pièces, telles qu'elles sont livrées, peuvent être soudées sans risque de sensibilisation à la corrosion intergranulaire et sans perte des propriétés mécaniques même dans la Zone Affectée Thermiquement (ZAT). En effet, les aciers inoxydables à bas carbone ne précipitent pas de carbures de chromes aux joints de grains en ZAT, on évite ainsi le risque de corrosion intergranulaire.

Pour les propriétés mécaniques en ZAT, la caractérisation faite sur des coupons, lors des qualifications de soudage, montre que les caractéristiques mécaniques en ZAT de ces joints homogènes ne sont pas significativement affectées par le soudage.

6.2. MATÉRIAU D'APPORT

[1]

Les matériaux d'apport utilisés pour la fabrication et le soudage sur site sont approvisionnés selon le tome IV du RCC-M et qualifiés. Ils devront satisfaire aux exigences relatives à la qualification du procédé de soudage [1]

[1]

6.3. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Les valeurs spécifiées pour les matériaux de base forgés des tuyauteries primaires principales et de la ligne d'expansion sont données par le RCC-M [\[1\]](#) (voir sous-chapitre 1.6), éventuellement complétées par des exigences supplémentaires prévues dans les spécifications d'équipement (voir [TAB-5.4.3.6](#)).

Les matériaux d'apport utilisés pour la fabrication et le soudage sur site sont qualifiés et devront satisfaire aux exigences relatives à la qualification du procédé de soudage.

7. PROCÉDÉ DE FABRICATION DES TUYAUTERIES PRIMAIRES PRINCIPALES ET DE LA LIGNE D'EXPANSION

Approvisionnement

Selon la conception de la boucle et la technologie de fabrication applicables, les pièces forgées à approvisionner sont les suivantes :

- La branche chaude est composée de 2 pièces forgées sans soudure : l'une comportant des piquages intégrés et un coude [\[1\]](#), l'autre comportant un coude forgé [\[1\]](#) à l'entrée du GV,
- La branche froide est composée d'une pièce forgée monobloc : une partie droite avec de gros piquages intégrés ($\varnothing \geq 150$ mm et RCV charge) avec un coude forgé intégré,
- La branche en U est constituée de 3 parties, chacune comportant une partie droite et un coude,
- La ligne d'expansion est composée de 7 parties droites avec des coudes obtenus par cintrage par induction aux endroits nécessaires.

Les opérations de forgeage sont optimisées afin d'obtenir les propriétés mécaniques requises et une bonne perméabilité aux ultrasons afin de pouvoir garantir l'inspectabilité en service.

Branches chaudes et froides

Les pièces sans soudure sont obtenues en forgeant un lingot massif [\[1\]](#). Plusieurs chauffages sont nécessaires pour effectuer les opérations successives de bloomage, étirage, forgeage des piquages et formage final.

Un usinage important est ensuite nécessaire pour aléser l'intérieur des tuyaux et donner la forme requise aux piquages.

L'usinage final est effectué avant les essais de réception et les contrôles non destructifs associés qui sont les suivants :

- Contrôle par ressuage des surfaces usinées, finies extérieures et intérieures,
- Contrôle par ultrasons en ondes longitudinales et transversales sur tout le volume.

Branche en U

La branche en U est obtenue à partir d'un lingot creux [\[1\]](#) pour lequel les opérations de forgeage sont très réduites du fait de la simplicité de la conception (pas de gros piquage). Peu de chauffages sont nécessaires pour exécuter les opérations d'étirage à chaud. Trois pièces distinctes sont obtenues à partir du produit brut.

[\[1\]](#)

Après le traitement thermique final, la géométrie exacte doit être obtenue par usinage ou meulage avant d'effectuer les essais de réception et les contrôles non destructifs associés qui sont identiques à ceux des branches chaudes et froides.

Fabrication en atelier

La fabrication en atelier se résume à celle des petits piquages et au soudage des raccords entre deux pièces sans soudure longitudinale.

Les finitions de surface dans les zones de mélange avec d'importantes variations de températures doivent être réalisées à l'aide d'une brosse \square .

Néanmoins le soudage de tapes pleines pour les essais hydrauliques est nécessaire pour effectuer les tests à la pression requise conformément au RCC-M B5000 (voir sous-chapitre 1.6).

Après découpe de ces tapes pleines, le nettoyage final doit être effectué avant le conditionnement et l'expédition à destination de la centrale pour le montage sur place.

Montage sur site

Le montage d'une boucle primaire ne nécessite qu'un nombre réduit de soudures homogènes. \square

\square

Les contrôles ultérieurs effectués sur les soudures sont :

- Contrôle par ressuage,
- Examen radiographique,
- Ultrasons.

\square

Pour minimiser tout risque de phénomène de thermohydraulique locale, dans les zones de mélange avec d'importantes variations de température \square , un traitement de la surface intérieure doit être proposé avec des valeurs de rugosité inférieure aux valeurs habituelles \square .

8. ÉPREUVE HYDRAULIQUE

Les tuyauteries primaires sont soumises à une épreuve hydraulique individuelle réglementaire, effectuée selon les dispositions du RCC-M B5000. Les tuyauteries primaires comprenant :

- branches chaudes,
- branches en U,
- branches froides,
- segments de la ligne d'expansion du pressuriseur,

sont éprouvées à l'état de sous-ensemble en atelier, avant transfert sur site. Les obturations pour l'épreuve sont obtenues par soudage de fonds sur les récipients.

Selon le RCC-M B5220, la pression d'essai du récipient sera au moins égale à la pression maximale de service⁽¹⁾ :

k*Ps avec

$$k = \max(1,43 ; 1,25 \min(\frac{S_{M,T_{EH}}}{S_{M,T_S}}))$$

S_m

contrainte admissible du matériau selon l'annexe Z du RCC-M

T_{EH} température de l'essai (20°C)

T_s température maximale de service⁽²⁾ de l'équipement (350°C pour les branches, 362°C pour la LEP)

(1) La pression de calcul P_c définie en B3132.1 peut être substituée à P_s pour la détermination du taux d'épreuve.

(2) La température de calcul T_c définie en B3232.2 peut être substituée à T_s .

On obtient ainsi la pression épreuve hydraulique individuelle de l'équipement :

- Pour les branches : $P = k \cdot P_c = 266$ bar avec $k = \max(1,43 ; 1,25 \frac{138}{114}) = 1,51$ et $P_c = 176$ bar,

- Pour les segments de la LEP : $P = k \cdot P_c = 269$ bar avec $P_c = 176$ bar et $k = \max(1,43 ; 1,25 \frac{138}{113}) = 1,53$

9. CONTRÔLABILITÉ / INSPECTABILITÉ

L'inspectabilité est l'aptitude à la conception à permettre les contrôles ou les inspections (implantation et matériau).

9.1. AU COURS DE LA FABRICATION : CONTRÔLABILITÉ

La contrôlabilité intrinsèque des matériaux utilisés pour les tuyauteries primaires principales est nécessaire pour la fabrication.

Pour le contrôle volumique, un contrôle radiographique ou par ultrasons doit être effectué sur le matériau de base ainsi que sur le métal déposé (soudures).

Cela signifie que les matériaux de base en acier inoxydable austénitique des tuyauteries primaires principales et de la ligne d'expansion doivent faire l'objet d'un contrôle volumique. La sensibilité de la détection a été prouvée sur les pièces de qualification.

Le choix d'une méthode de contrôle (radiographique ou par ultrasons) dépend de la forme et de l'emplacement du défaut le plus probable prévu pour une fabrication donnée.

De ce fait, le contrôle par ultrasons est le contrôle le plus fréquemment utilisé pour l'approvisionnement des produits forgés et le contrôle radiographique est effectué de préférence sur les soudures. Par conséquent la contrôlabilité peut être résumée comme suit :

- Branches du circuit primaire :
 - Inspection des surfaces = contrôle 100 % par ressuage des surfaces intérieures et extérieures,
 - Contrôle volumique = contrôle 100 % par ultrasons depuis la surface extérieure (un contrôle depuis la surface intérieure peut aussi être effectué pour certaines zones, en particulier pour les piquages intégrés).
- Ligne d'expansion :
 - Inspection des surfaces = contrôle 100 % par ressuage de la surface extérieure,

- Contrôle volumique = contrôle 100 % par ultrasons depuis la surface extérieure.
- Soudures de connexion :
 - Inspection de surface = contrôle 100 % par ressuage des surfaces intérieures (lorsqu'elles sont accessibles) et extérieures,
Remarque : Le contrôle par ressuage doit être effectué après arasage des soudures.
 - Contrôle volumique = contrôle 100 % radiographique de la soudure et d'une zone de 10 mm de part et d'autre de la soudure.

9.2. AU COURS DE L'EXPLOITATION : INSPECTABILITÉ

Les zones typiques d'inspection en service sont les soudures.

Toutes les soudures dont l'emplacement est indiqué sur la figure [FIG-5.4.3.3](#) et la figure [FIG-5.4.3.4](#) peuvent être inspectées en service, notamment, par ultrasons (voir tableau [TAB-5.4.3.7](#) et tableau [TAB-5.4.3.8](#)).

Les exigences d'approvisionnement applicables aux matériaux de base (taux de corroyage et taille de grain) associées au procédé de soudage utilisé pour les soudures principales (soudage TIG Orbital à Chanfrein Etroit) garantissent que la perméabilité aux ultrasons obtenue permet d'atteindre la sensibilité nécessaire pour l'inspection en service par ultrasons, si besoin.

Toutes les zones qui sont soumises à une inspection en service sont définies dans les PBMP (Programmes de Base de la Maintenance Préventive).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.3

PAGE 13/24

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.3.1 BRANCHES CHAUDES - PARTIE COURANTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.3

PAGE 14/24

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.3.2 BRANCHES EN U - PARTIE COURANTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.3

PAGE 15/24

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.3.3 BRANCHES FROIDES - PARTIE COURANTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.3

PAGE 16/24

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.3.4 LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR -
PARTIE COURANTE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.3

PAGE 17/24

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.3.5 ANALYSE CHIMIQUE SUR COULÉE

□

**TAB-5.4.3.6 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX
DE BASE POUR TUYAUTERIES PRIMAIRES PRINCIPALES
FORGÉES ET LIGNE D'EXPANSION**

□

TAB-5.4.3.7 INSPECTABILITÉ DE LA BOUCLE PRIMAIRE

DÉSIGNATION	ITEM	INSPECTION POSSIBLE
Extrémité cuve / BC	H1	RT-UT-LP-V
Coude	H2	RT-UT-LP-V
BC / extrémité GV	H3	RT-UT-LP-V
extrémité GV / BU section A	U1	RT-UT-LP-V
BU section A / BU section B ²	U2	UT-LP-V
BU section B / BU section C ²	U3	UT-LP-V
BU section C / extrémité pompe ²	U4	UT-LP-V
extrémité pompe / BF ²	C1	UT-LP-V
BF / Extrémité cuve	C2	RT-UT-LP-V
Soudures piquages	-	UT partiel-LP-V
piquages / ligne auxiliaire	-	UT-LP-V

Les abréviations sont :

UT (contrôle par ultrasons)

RT (contrôle radiographique)

LP (contrôle par ressuage)

V (visuel)

2. Contrôle radiographique non utilisé en raison des difficultés d'accès, sauf pour les soudures U4 et C1 en cas de dépose d'hydraulique des pompes primaires.

TAB-5.4.3.8 INSPECTABILITÉ DE LIGNE D'EXPANSION

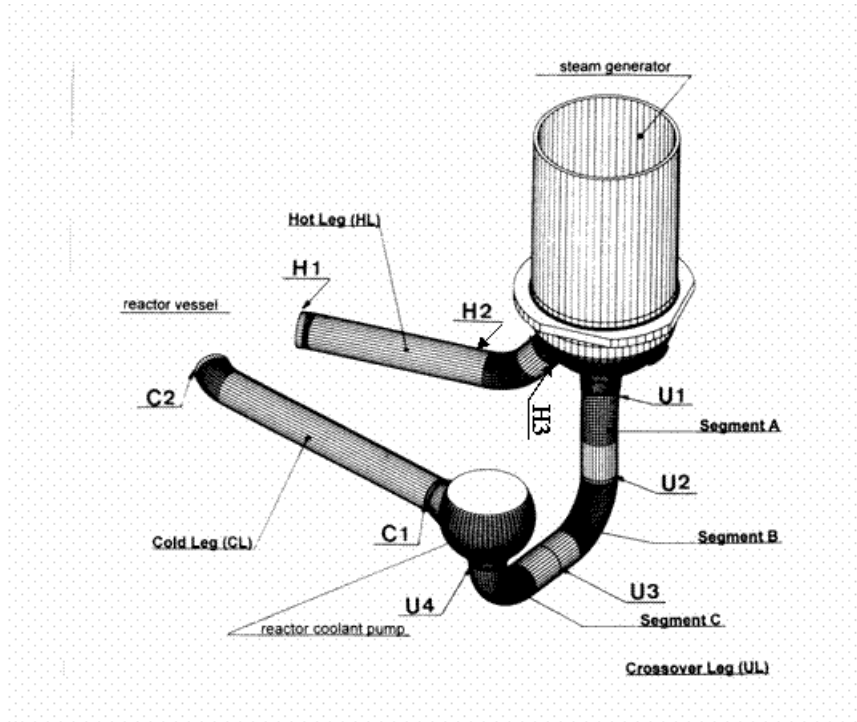
DÉSIGNATION	CONTRÔLES ³
BC / piquage Section A	UT-LP-V
Section A / Section B	UT-LP-V
Section B / Section C	UT-LP-V
Section C / Section D	UT-LP-V
Section D / Section E	UT-LP-V
Section E / Section F	UT-LP-V
Section F / Section G	UT-LP-V
Section G / extrémité pressuriseur	UT-LP-V

Les abréviations sont :

- UT (contrôle par ultrasons)
- RT (contrôle radiographique)
- LP (contrôle par ressuage)

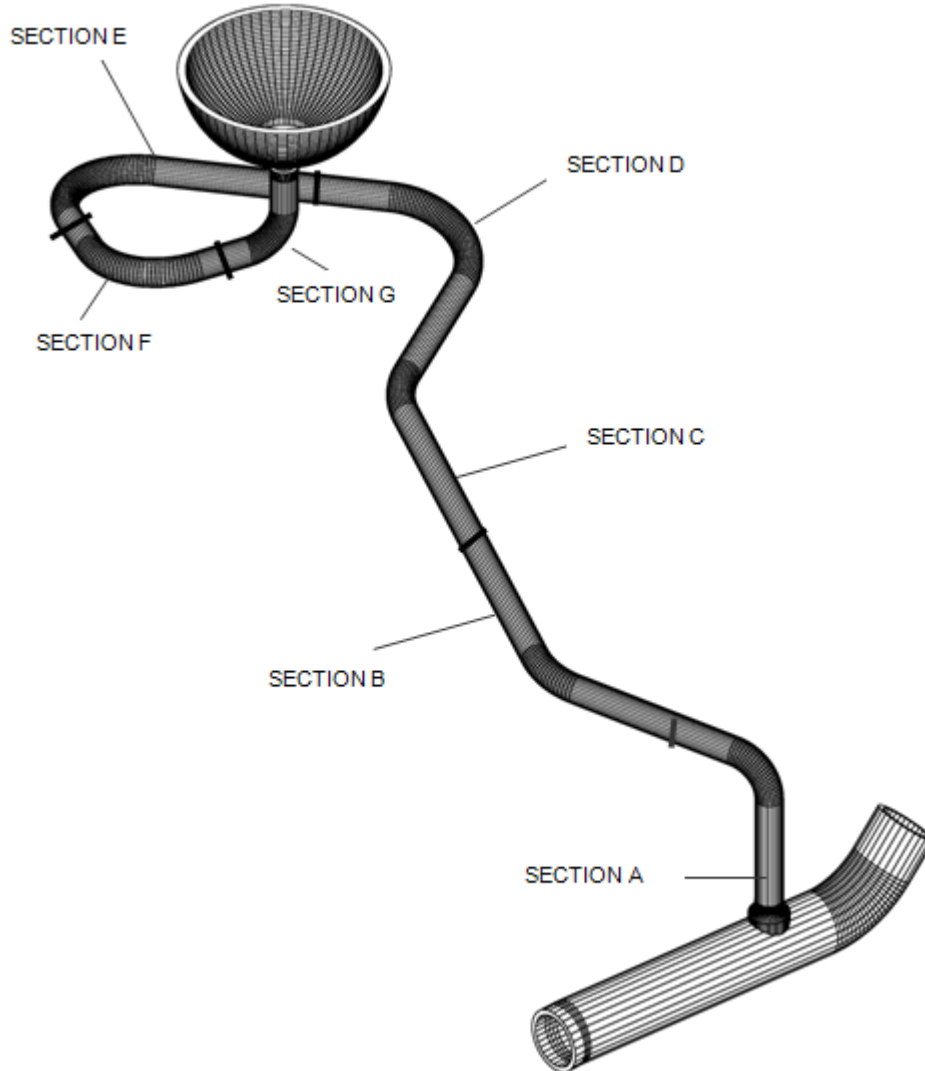
3. Contrôle radiographique non utilisé en raison des difficultés d'accès.

**FIG–5.4.3.1 BOUCLE PRIMAIRE AVEC POSITION DES SOUDURES
(HI, UI, CI)**



Steam generator	Générateur de vapeur
Hot leg (HL)	Branche chaude (BC)
Reactor vessel	Cuve du réacteur
Cold leg (CL)	Branche froide (BF)
Reactor coolant pump	Pompe primaire
Segment A	Tronçon A
Segment B	Tronçon B
Segment C	Tronçon C
Crossover leg (UL)	Branche en U (BU)
Loop	Boucle

FIG-5.4.3.2 LIGNE D'EXPANSION





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.3

PAGE 23/24

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-5.4.3.3 BOUCLES PRIMAIRES

□

□

FIG-5.4.3.4 LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR

□

SOMMAIRE

.5.4.4 PRESSURISEUR	3
1. DESCRIPTION	3
2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET INTERFACES	4
3. PRINCIPES DE CONCEPTION ET OBJECTIFS	6
3.1. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES	6
3.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES	9
3.3. DIMENSIONS PRINCIPALES	9
3.4. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET FACILITÉ DE REPLACEMENT	10
4. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX	10
5. CONCEPTION MÉCANIQUE	11
5.1. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT	11
5.2. CONCEPTION DES SOUS - ENSEMBLES	12
5.3. PLAN D'ENSEMBLE	12
6. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT	12
7. ÉPREUVE HYDRAULIQUE INDIVIDUELLE	13
8. MONTAGE SUR SITE	13

TABLEAUX :

TAB-5.4.4.1 CARACTERISTIQUES DES CANNES CHAUFFANTES DU PRESSURISEUR	14
TAB-5.4.4.2 DIMENSIONS ET CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU PRESSURISEUR	15
TAB-5.4.4.3 COMPOSITION CHIMIQUE DU MATERIAU DE BASE (ANALYSE DU PRODUIT) POUR VIROLES, FOND, DOME, TUBULURES ET SUPPORTS DE FIXATION LATERALE.....	16
TAB-5.4.4.4 CALCUL D'ÉPAISSEUR POUR LES PIÈCES SOUS PRESSION (CHARGE DE PRESSION)	17
TAB-5.4.4.5 APPROVISIONNEMENT DES PIÈCES PRINCIPALES	18

FIGURES :

FIG-5.4.4.1 PRESSURISEUR - COTES PRINCIPALES	19
FIG-5.4.4.2 NOMENCLATURE	20
FIG-5.4.4.3 AMORTISSEUR DYNAMIQUE DE LA LIGNE D'EXPANSION	21

.5.4.4 PRESSURISEUR

1. DESCRIPTION


Le pressuriseur (PZR) est une enceinte sous pression qui fait partie du CPP (circuit primaire principal). Il se compose d'une virole cylindrique verticale, fermée aux deux extrémités par des fonds hémisphériques. Il est construit en acier ferritique, avec un revêtement en acier inoxydable austénitique sur toutes les surfaces internes en contact avec le fluide primaire.


- Le fond hémisphérique supérieur est une pièce formée à chaud. Il est muni de :
 - Trois tubulures connectées aux soupapes de sûreté. Ces trois tubulures sont munies d'une écope à l'intérieur du pressuriseur permettant d'avoir un bouchon d'eau sous chaque siège de soupape.
 - Une tubulure connectée aux vannes dédiées aux accidents graves et au givé ouvert.
 - Un trou d'homme permettant d'accéder à l'intérieur du pressuriseur.
 - Un évent.
- La virole cylindrique est constituée de trois enveloppes forgées. Elle est munie de :
 - Piquages d'instrumentation supérieurs (phase vapeur).
 - Supports de fixation latéraux.

Le circuit d'aspersion latéral se compose de trois tubulures distinctes, soudées latéralement à proximité du haut de la virole cylindrique supérieure :

- Deux tubulures pour les lignes d'aspersion principales (connectées aux deux branches froides).
- Une tubulure pour la ligne d'aspersion auxiliaire (connectée au RCV).

Les trois tubulures d'aspersion possèdent des manchettes thermiques soudées intégrées. Chaque manchette thermique est prolongée par une lance. L'extrémité de chaque lance est équipée d'une boîte à eau, contenant des buses boulonnées qui injectent le débit d'aspersion requis dans l'espace vapeur du pressuriseur.

- Le fond hémisphérique inférieur est une pièce formée à chaud. Il est muni de :
 - La tubulure d'expansion axiale, équipée d'une manchette thermique 
 - Piquages d'instrumentation inférieurs (phase liquide).
 - Manchettes de cannes chauffantes avec bride de liaison.
 - Une crépine montée à l'entrée de la tubulure d'expansion dans le fond inférieur qui empêche le passage d'éléments détachés du pressuriseur dans le circuit primaire.

Le pressuriseur est équipé de 108 cannes chauffantes, , placées verticalement, insérées dans les manchettes de cannes chauffantes. Il n'y a pas de manchette de réserve, sans canne. Les cannes chauffantes sont montées en utilisant un raccordement par bride. Elles sont donc facilement remplaçables. Leur fabrication est identique à celle des cannes de rechange actuellement fabriquées pour le parc.

Le tableau [TAB-5.4.4.1](#) présente les principales caractéristiques des cannes chauffantes.

Le raccordement par bride des cannes chauffantes se compose des pièces suivantes :

- Manchettes des cannes chauffantes soudées, après le traitement thermique final, sur le revêtement intérieur du fond inférieur du pressuriseur.

- Contre bride avec collerette (bride supérieure), en acier inoxydable austénitique, montée avant soudage des manchettes de cannes chauffantes.
- Contre bride avec collerette (bride inférieure), en acier inoxydable austénitique.
- Fixation de la bride de canne chauffante, soudée sur le fourreau de la canne, contenant une gorge pour le joint torique.
- Joint torique métallique comportant des trous sur le diamètre intérieur, argenté. Ces trous ont pour fonction d'équilibrer la pression à l'intérieur du tore et ainsi d'améliorer l'adhérence du tore à son logement.
- Goujons et écrous.

Les cannes chauffantes sont disposées en quatre cercles concentriques.

Deux zones sont exemptes de pénétrations de cannes chauffantes : la zone centrale autour de la tubulure d'expansion et la zone située au-dessus du cheminement de la ligne d'expansion. Cette implantation permet l'accès aux cannes chauffantes pour maintenance et remplacement.

Le pressuriseur est calorifugé sur sa surface externe.

Tous les éléments mentionnés dans la nomenclature, voir figure [FIG-5.4.4.2](#), font partie de l'équipement Pressuriseur au sens de la réglementation ESPN.

Les parties du pressuriseur jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET INTERFACES

Les fonctions d'exploitation du pressuriseur et des équipements associés sont, en plus de la fonction enveloppe sous pression du circuit primaire en tant que partie du circuit primaire principal et de la barrière secondaire :

- Le contrôle de la pression primaire.
- La protection du circuit primaire contre les surpressions grâce aux soupapes de sécurité et le contrôle de la pression en situation accidentelle et post-accidentelle, grâce aux vannes d'accidents graves et de gavé ouvert.

Le pressuriseur participe aussi au contrôle volumique du RCP.

Ces fonctions sont assurées par :

- La présence de la phase liquide et de la phase vapeur dans l'enceinte du pressuriseur.
- Le circuit d'aspersion (aspersion normale et auxiliaire).
- Les cannes chauffantes.
- Les soupapes de sûreté du pressuriseur.

Interface avec la branche chaude du RCP : le pressuriseur est connecté à la branche chaude n°3 du RCP via la ligne d'expansion. Ce branchement permet des ajustements en continu du volume et de la pression entre le RCP et le pressuriseur.

Interface avec les branches froides du RCP : deux tubulures d'aspersion (aspersion principale) sont connectées à deux lignes d'aspersion provenant de deux branches froides du RCP. Une des branches froides appartient à la même boucle que celle connectée à la ligne d'expansion. L'eau d'aspersion est injectée dans l'espace vapeur sous la forme de fines gouttelettes, créant une surface de condensation instantanée.

Interface avec le RCV : une tubulure d'aspersion (aspersion auxiliaire) est connectée au RCV. L'eau de la ligne d'aspersion auxiliaire a une température beaucoup plus basse que l'eau des lignes d'aspersion principales.

Interface avec le réservoir de décharge du pressuriseur : trois tubulures sont connectées aux soupapes de sûreté du pressuriseur qui refoulent dans le réservoir de décharge du pressuriseur et dans le bâtiment réacteur en cas de rupture d'un disque. Une tubulure supplémentaire est connectée à la ligne dédiée en cas d'accident grave, qui refoule elle aussi dans le réservoir de décharge du pressuriseur.

En tant que partie du circuit primaire principal, le pressuriseur est soumis aux conditions de régime suivantes :

- Pression de calcul : 17,6 MPa abs.
- Température de calcul : 362°C.

En fonctionnement, le pressuriseur peut se trouver dans diverses situations classées en plusieurs catégories, et auxquelles est ajoutée une situation conventionnelle de référence, dite de première catégorie.

Ces situations sont définies ci-après :

- Situation de première catégorie (situation de référence) : Les conditions d'étude sont caractérisées par une pression de référence (17,6 MPa abs) et une température de référence (362°C). Les torseurs d'efforts extérieurs, qui agissent aux points d'ancrage et à l'extrémité des tubulures, ont pour origine :
 - Le poids propre,
 - La pression,
 - Le SDI,
 - Le fonctionnement des soupapes de décharge et de sécurité,
 - Les efforts d'expansion thermique.
- Situations de deuxième catégorie (situations normales et perturbées) : Les conditions d'étude sont caractérisées par des transitoires de température et de pression. Les torseurs d'efforts extérieurs ont pour origine :
 - Le poids propre,
 - La pression,
 - Le SDI,
 - Les efforts d'expansion thermique,
 - Le fonctionnement des soupapes de décharge et de sûreté (uniquement lors d'essais en 2^{ème} catégorie).
- Situations de troisième catégorie (situations exceptionnelles) : Les conditions d'étude sont caractérisées par des transitoires de température et de pression. Les torseurs d'efforts extérieurs ont pour origine :
 - Le poids propre,
 - La pression,
 - Les efforts d'expansion thermique,
 - Les efforts de décharge des soupapes.

- Situations de quatrième catégorie (situations accidentelles) : Les conditions d'étude sont caractérisées par des transitoires de température et de pression. Les torseurs d'efforts extérieurs ont pour origine :
 - Le poids propre,
 - La pression,
 - Le SDD,
 - La rupture d'une tuyauterie,
 - Les efforts d'expansion thermique,
 - Les efforts de décharge de soupapes.

3. PRINCIPES DE CONCEPTION ET OBJECTIFS

Pour la conception et les caractéristiques principales du pressuriseur, les objectifs suivants ont été définis :

- Fonctionnement fiable et adéquation pour toutes les conditions de fonctionnement et les chargements grâce au choix d'une conception appropriée qui minimise autant que possible les niveaux de contraintes et la répartition des contraintes.
- Réduction de la fatigue pour tous les endroits soumis à des chargements dans le cadre de l'exigence EPR de 60 ans de durée de vie.
- Sélection des matériaux grâce à l'utilisation de matériaux appropriés et éprouvés.
- Utilisation de méthodes de fabrication éprouvées, favorisant les techniques industrielles utilisées par les fabricants traditionnels et permettant le respect des exigences de contrôle en fabrication et en service.
- Choix de solutions qui facilitent la maintenance et l'accessibilité pour les contrôles en service et la maintenance.
- Préférence donnée aux solutions qui conduisent à une réduction de l'exposition aux rayonnements du personnel.



3.1. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES


Conception de la tubulure d'expansion

La ligne d'expansion est connectée au pressuriseur via la tubulure d'expansion, placée verticalement, dans l'axe du fond inférieur.

Cette conception limite l'effet des chargements thermiques excessifs sur la tubulure dans des conditions normales de fonctionnement et lors de situations perturbées.

La courte distance entre la tubulure et les supports de fixation latéraux, l'emplacement vertical et le cheminement de la ligne d'expansion, minimisent les chargements dus à la dilatation thermique de l'enceinte du pressuriseur.

Un amortisseur dynamique (Tuned Mass Damper) est installé sur la ligne d'expansion, au niveau du coude . Il est constitué d'un anneau enserrant la ligne d'expansion reliés par des ressorts à câbles à une masse mobile. Il est conçu pour écrêter en fonctionnement normal les vibrations de la ligne d'expansion sur une fréquence ciblée  correspondant au mode propre de la ligne d'expansion par sollicitation des ressorts à câble et dissipation d'énergie par la masse mobile. Les schémas de l'amortisseur et de son implantation sont présentés en [FIG-5.4.4.3](#).

La conception prévoit la présence d'une manchette thermique .

Le positionnement axial de la tubulure d'expansion à l'endroit le plus bas du pressuriseur facilite le balayage continu de la zone inférieure du pressuriseur, ce qui évite les zones stagnantes et le dépôt de particules solides (radioactives).

La tubulure d'expansion est composée d'une tubulure forgée en acier ferritique, soudée avec un embout de sécurité austénitique. [1]. La tubulure est revêtue en acier inoxydable austénitique sur toutes les surfaces en contact avec le réfrigérant primaire.

Conception du circuit d'aspersion

La connexion au pressuriseur du circuit d'aspersion se trouve en haut de la virole supérieure du pressuriseur. Cette disposition permet de séparer les tubulures d'aspersion de celles des soupapes par un plancher béton, contribuant à réduire la dosimétrie lors des opérations d'intervention sur les soupapes. Trois tubulures d'aspersion font partie du circuit d'aspersion :

- Deux lignes [1] sont connectées à deux des boucles froides (une de ces deux boucles froides étant la boucle de la ligne d'expansion). Elles assurent l'aspersion normale du pressuriseur.
- Une troisième ligne, [2], est connectée au système RCV.

Afin de protéger les tubulures d'aspersion contre des chargements thermiques excessifs, les tubulures d'aspersion sont munies de manchettes thermiques (pour réduire autant que possible le risque de dommage à la fatigue).

Chaque lance d'aspersion est prolongée par une boîte à eau avec des buses boulonnées (à l'extrémité des manchettes thermiques), qui permettent une aspersion sous forme de fines gouttelettes.

La distance entre les buses et la zone de contact du fluide d'aspersion avec la paroi du pressuriseur est relativement grande et la taille des gouttelettes est relativement petite, du fait du choix de petites buses de pulvérisation : ces caractéristiques assurent un bon réchauffement des gouttelettes avant qu'elles n'atteignent la paroi du pressuriseur. Ceci permet d'éviter le risque de fatigue thermique de la zone de contact de l'aspersion avec la paroi du pressuriseur.

Le circuit d'aspersion et ses éléments sont facilement accessibles pour inspection et maintenance. Le remplacement complet d'une lance d'aspersion avec ses buses est possible, si nécessaire. Le changement des lances d'aspersion peut s'opérer alors directement par les tubulures qui correspondent aux lances.

La conception des lances EPR a bénéficié du REX. Des calculs mécaniques ont également été menés afin de justifier la bonne tenue des lances. Par ailleurs, des essais de validation du système d'aspersion EPR ont été réalisés sur une maquette comportant une lance d'aspersion. Ces essais ont permis de vérifier le comportement vibratoire, les contraintes de l'encastrement, la perte de charge, le débit et l'angle d'ouverture du jet à la sortie des diffuseurs.

Conception de la connexion des soupapes de sûreté et des vannes dédiées aux accidents graves et au gavé ouvert

Trois tubulures sont connectées aux soupapes de sûreté. Une autre tubulure est connectée à la ligne dédiée en cas d'accidents graves. Elles se trouvent sur le fond hémisphérique supérieur du pressuriseur. Les soupapes de sûreté sont séparées des tubulures d'aspersion par un plancher béton (voir paragraphe précédent).

Chaque tubulure de soupape est munie d'une écope. Des calculs mécaniques ont été menés afin de justifier la bonne tenue des écopes. Par ailleurs, des essais de validation sur maquette ont été réalisés. Ces essais ont permis de s'assurer de la bonne formation du bouchon d'eau dans la conception EPR.

Il y a au total trois piquages de prises d'impulsion, un pour chacune des trois soupapes de sûreté dans le dôme supérieur du pressuriseur ; ils sont situés à proximité des tubulures de soupapes sur le fond supérieur.

Conception de la connexion des cannes chauffantes :

Les cannes chauffantes du pressuriseur sont placées verticalement en bas du pressuriseur. Elles sont raccordées par des brides boulonnées aux manchettes des cannes du pressuriseur.

Le raccordement par bride est une conception éprouvée sur le Konvoi.

Le raccordement par bride permet un remplacement facile et fiable des cannes éventuellement défectueuses.

Une plaque support de cannes est installée dans le fond inférieur du pressuriseur. Sa conception (large ouverture centrale) permet l'accès à la crépine de la tubulure de la ligne d'expansion à des fins d'inspection.

Conception des supports

Le pressuriseur est soutenu par trois consoles de fixation soudées sur la virole cylindrique inférieure. Ces consoles de fixation reposent sur le plancher-support au moyen d'une structure de support intermédiaire qui permet une libre dilatation thermique radiale.

Ces supports reprennent les chargements dans toutes les conditions de fonctionnement y compris en situation accidentelle. Dans ce dernier cas, huit butées radiales fixées sur le génie civil au niveau du centre de gravité du pressuriseur assurent en plus la stabilité du pressuriseur.

Ces supports latéraux supérieurs permettent la dilatation thermique radiale et verticale de l'enceinte du pressuriseur.

Voir également la section dédiée aux supports des équipements primaires (voir Chap5.4.9).

Conception des piquages d'instrumentation



Les piquages d'instrumentation de petit diamètre sont soudés sur le revêtement interne de la paroi de l'enceinte de pression. Le pressuriseur est équipé de :

-  piquages utilisés pour la mesure du niveau du pressuriseur :



La distance entre les deux niveaux représente la gamme de mesure du niveau (échelle).

La conception des piquages tient compte des exigences spécifiques relatives à la fiabilité de la mesure de niveau.

- Un piquage de prise d'échantillonnage dans le volume d'eau.
-  piquages de mesure de température, .
- Un piquage de dégazage du trou d'homme, situé dans la pièce forgée.

Conception du trou d'homme

La bride du trou d'homme se trouve sur le fond hémisphérique supérieur, dans l'axe du pressuriseur.

Sa construction rigide associée au couvercle plein rigide limite les déformations dues à la pression dans la zone d'étanchéité et assure ainsi une bonne étanchéité de la fermeture.



L'orifice du trou d'homme permet d'accéder à l'intérieur du pressuriseur pour contrôle ou maintenance.

3.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES

Les exigences fonctionnelles relatives au pressuriseur sont :

- 1) Pression de calcul : 17,6 MPa abs.
- 2) Température de calcul : 362°C.
- 3) Fonction de contrôle volumique du RCP : Le volume du pressuriseur est égal ou supérieur au volume minimum de vapeur, d'eau ou combinaison des deux qui satisfait à toutes les exigences suivantes :
 - Le volume d'eau saturée et le volume d'expansion de vapeur combinés sont suffisants pour fournir la réponse en pression souhaitée aux changements de volume du système.
 - Le volume d'eau est assez grand pour éviter que les chaufferettes soient découvertes lors de la vidange du pressuriseur dans les conditions PCC-1 et en même temps suffisamment grand pour compenser l'expansion du réfrigérant entre 0 % et 100 % du niveau de puissance dans les conditions PCC-1.
 - Le volume de vapeur est assez grand pour répondre aux exigences de surpression : respect des critères de surpression du RCP dans les conditions PCC-2 à 4.
 - Le volume de vapeur doit éviter l'activation fréquente des appareils de régulation de pression en fonctionnement normal.
 - Le pressuriseur ne se videra pas à la suite d'un arrêt d'urgence du réacteur et de la turbine.
 - Le signal d'injection de sécurité n'est pas activé pendant l'arrêt d'urgence du réacteur et l'arrêt d'urgence de la turbine.
- 4) Exigences fonctionnelles liées à la régulation de pression du pressuriseur :
 - Trois tubulures d'aspersion se trouvent dans la partie supérieure (deux tubulures distinctes pour l'aspersion normale et une tubulure pour l'aspersion auxiliaire).
 - Le débit d'aspersion pris en compte pour la conception est $Q = \square$ kg/s à la température de l'eau d'aspersion \square pour une ligne d'aspersion principale.
 - Les chaufferettes (voir tableau [TAB-5.4.4.1](#)) se trouvent dans la partie inférieure du pressuriseur (volume d'eau).
 - Trois tubulures de raccordement des soupapes de sûreté et une tubulure de raccordement de la ligne dédiée aux accidents graves sont situées dans la partie supérieure du dôme du pressuriseur.
- 5) Exigences fonctionnelles relatives à la ligne d'expansion :
 - La ligne d'expansion relie le pressuriseur à une branche chaude. La ligne d'expansion est raccordée verticalement à la tubulure en fond du pressuriseur.
 - La différence de pression ΔP de la ligne d'expansion répond aux exigences relatives aux pertes de charge :

\square

3.3. DIMENSIONS PRINCIPALES

Les dimensions principales, les caractéristiques et les tubulures de connexion du pressuriseur sont listées dans le tableau [TAB-5.4.4.2](#).

3.4. INSPECTABILITÉ, RÉPARABILITÉ ET FACILITÉ DE REMPLACEMENT

Inspectabilité

La surface externe du pressuriseur et les soudures peuvent être entièrement contrôlées.

La forme et l'inclinaison des pièces soudées, y compris les embouts de sécurité des soudures de tubulure, permettent la réalisation d'exams radiographiques et de contrôles par ultrasons.

Le calorifuge peut être retiré dans toutes les zones pouvant faire l'objet d'un contrôle en service :

- Soudures circulaires du corps de l'enceinte sous pression (il n'y a aucune soudure longitudinale).
- Soudures des tubulures sur les fonds hémisphériques.
- Soudures des supports de fixation latéraux.

Les soudures des tubulures sur les fonds sont suffisamment éloignées des autres soudures pour permettre la réalisation d'un contrôle par ultrasons.

La surface interne des manchettes peut être contrôlée après démontage de la chaufferette.

L'inspection du revêtement peut être effectuée depuis l'intérieur à l'aide d'une caméra télécommandée. L'accès se fait via l'ouverture du trou d'homme.

La conception du pressuriseur ne nécessite pas la présence de personnel à l'intérieur du pressuriseur pour la réalisation du contrôle en service. Tous les exams sont possibles de l'extérieur et certains d'entre eux se prêtent à l'utilisation d'outils de contrôle automatiques.

Réparabilité

La réparabilité du pressuriseur est rendue possible pour les composants suivants où les zones soumises à la fatigue, la corrosion-érosion, le grippage ou le vieillissement peuvent nécessiter une réparation :

- Filetages du trou d'homme (dommages mécaniques, arrachement des filetages lors du démontage/ de l'ouverture du trou d'homme) : réparation à l'aide de filets rapportés.
- Plan du joint du trou d'homme (rayures, déchirement ou corrosion lors des opérations d'ouverture/ fermeture, par le contact avec l'atmosphère du bâtiment réacteur ou en cas de fuite) : la conception de la surface plane du plan de joint permet de réparer facilement par usinage.

Remplacement

Les composants ou pièces suivantes sont remplaçables si nécessaire :

- Goujons et écrous du trou d'homme.
- Lances d'aspersion avec les buses.
- Buses vissées sur la boîte à eau.
- Cannes chauffantes (raccordement par bride).

4. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

Tous les matériaux utilisés pour la construction du pressuriseur se conforment aux exigences RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

Matériaux de base

L'acier ferritique faiblement allié [] est le matériau de base utilisé pour les viroles, les fonds hémisphériques, les tubulures principales et les supports de fixation latérale.

La spécification RCC-M donne les compositions chimiques et les propriétés mécaniques spécifiées pour le matériau de base.

La détermination de la RT_{NDT} initiale est basée sur les tests Pellini et Charpy V.

La RT_{NDT} initiale des viroles, des tubulures, du dôme, du fond et des supports de fixation latérale du pressuriseur est inférieure à []°C. Afin de limiter le risque de rupture brutale, la teneur en phosphore est limitée à []%. De plus, pour toutes ces pièces, la teneur en soufre de l'acier est limitée à []% et le taux de cuivre à []%.

Goujons et écrous

Les goujons du pressuriseur sont des goujons de petit diamètre []. Ils sont fabriqués en acier à haute résistance. Le tableau [TAB-5.4.4.5](#) donne les propriétés mécaniques [].

Embouts de sécurité, manchettes de canne chauffante et piquages d'instrumentation du pressuriseur

Les embouts de sécurité sont soudés sur les tubulures du pressuriseur au cours de la fabrication en usine. Les embouts de sécurité sont fabriqués à partir de barres forgées en acier inoxydable austénitique Cr-Ni-Mo.

Le soudage des embouts de sécurité sur les tubulures s'effectue avec un alliage Ni-Fe à []% de chrome sans beurrage préalable.

[]

Matériau du revêtement

Le revêtement interne du pressuriseur se fait en deux couches successives, avec des feuillards en acier inoxydable austénitique.

Soudures des manchettes de cannes chauffantes et des piquages d'instrumentation

Les manchettes de chaufferette et les piquages d'instrumentation sont soudés sur le revêtement interne. L'épaisseur du revêtement est augmentée localement dans la zone de la soudure, afin de permettre l'usinage du J-groove.

5. CONCEPTION MÉCANIQUE

Cette section présente les principaux résultats des calculs de dimensionnement des pièces et sous-ensembles principaux, principalement les pièces de l'enceinte sous pression et de fermeture.

Dans le cadre de la conception mécanique, le pressuriseur est un composant RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) niveau 1.

La durée de vie de conception est de 60 ans.

5.1. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT

- 1) Les épaisseurs des parois soumises à la pression, déterminées en se basant sur la pression de calcul et la température de calcul, sont listées dans le tableau [TAB-5.4.4.4](#).
- 2) L'ensemble fermeture du trou d'homme est dimensionné en prenant en compte les conditions de régime (pression et température) et les caractéristiques mécaniques des joints, telles que fournies par le fabricant de joints.

5.2. CONCEPTION DES SOUS - ENSEMBLES

Analyse du comportement de la tubulure d'expansion

Une évaluation de la résistance à la fatigue de la tubulure d'expansion a été effectuée afin de vérifier l'acceptabilité des facteurs d'usage pour une durée de vie nominale de 60 ans. Les calculs de résistance à la fatigue ont été basés sur les transitoires de dimensionnement les plus pénalisants [1].

La tubulure d'expansion est équipée d'une manchette thermique, et l'analyse à la fatigue donne un facteur d'usage faible dans la zone protégée de la liaison bimétallique.

Tubulures des soupapes de sûreté

Les chargements sur les tubulures des soupapes de sûreté ont été calculés en se basant sur le schéma de détente des soupapes de sûreté. Un calcul des embouts de sécurité a été effectué, cette zone étant considérée la plus chargée, pour des raisons de géométrie et de propriétés du matériau.

Les embouts de sécurité des tubulures ont été calculés pour la pression, la température et les moments externes (ensemble de chargement donné pour les conditions de deuxième catégorie et les conditions accidentelles) résultant des calculs de tuyauteries. Les contraintes calculées sont acceptables pour les différentes zones de la structure.

Soudures des supports de fixation latéraux

Les soudures des consoles de fixation sur la virole du pressuriseur ont été calculées en se basant sur des chargements aux extrémités fournis par les résultats préliminaires de l'analyse de boucle. Les contraintes induites dans les soudures sont acceptables pour toutes les conditions de régime et en conditions accidentelles.

5.3. PLAN D'ENSEMBLE

Le plan d'ensemble du pressuriseur est présenté à la fin du chapitre en Figure [FIG-5.4.4.1](#).

6. FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT

L'enceinte du pressuriseur est fabriquée à partir des pièces suivantes :

- Viroles cylindriques forgées.
- Fonds hémisphériques formés à chaud.
- Tubulures forgées.
- Plaques forgées pour les couvercles.
- Embouts de sécurité forgés.
- Barres forgées pour les piquages de petit diamètre.
- Plaques pour les supports latéraux.
- Plaque pour le support de chaufferettes.

Le tableau [TAB-5.4.4.5](#) liste les conditions d'approvisionnement des principaux composants et pièces.

Le revêtement en acier inoxydable austénitique des pièces de l'enceinte sous pression se fait en utilisant des feuillards inox déposés en automatique, avec une retouche manuelle des soudures circulaires.

Les embouts de sécurité sont soudés sur les pièces forgées ferritiques, sans beurrage préalable, ☐, avec comme matériau de soudure un alliage Ni-Fe à ☐% de chrome. Cette opération est réalisée avant le dernier traitement thermique de détensionnement.

Les soudures circulaires d'assemblage des viroles et des fonds sont réalisées par le procédé ☐. Les soudures des tubulures sont réalisées par le procédé ☐. Enfin, les soudures des piquages et des manchettes de cannes chauffantes sont réalisées par le procédé ☐.

Tous les procédés de soudage ont fait l'objet de qualifications selon le RCC-M.

Le traitement thermique de pré et post-soudage et le traitement thermique final des soudures doivent se conformer aux exigences RCC-M (voir sous-chapitre 1.6).

A la fin du processus de fabrication, la surface et l'inclinaison des soudures doivent être préparées afin de permettre l'exécution d'un contrôle de surface (examen par ressuage, magnétoscopie) et d'examens volumiques (radiographie, ultrasons).

La rugosité finale du revêtement doit permettre l'exécution d'examens par ressuage et ultrasons.

Le pressuriseur est contrôlé et testé conformément aux sections III « Méthodes de contrôle » et IV « Soudage » du code RCC-M. Les soudures des pièces soumises à la pression sont contrôlées suivant les exigences du RCC-M niveau 1, dont le programme de contrôle des principales opérations est donné au chapitre S 7000.

Les pièces du pressuriseur ne comportent pas de soudures longitudinales.

7. ÉPREUVE HYDRAULIQUE INDIVIDUELLE

La pression d'épreuve est calculée à partir du taux règlementaire d'épreuve en vigueur, qui est de 1,43 pour le pressuriseur.

L'épreuve a lieu en atelier, l'appareil en position verticale selon les impositions du RCC-M.

8. MONTAGE SUR SITE

Le pressuriseur est transporté sur le site par voie routière et maritime. Il est introduit dans le bâtiment réacteur en position horizontale par le tampon matériel.

A l'aide de 2 chariots temporaires montés sur le pont polaire, le pressuriseur est mis en position verticale, et translaté jusqu'au dessus de sa casemate. Les points de levage, préalablement installés en usine, sont constitués d'une chape de manutention fixée sur le trou d'homme à l'avant et d'un axe traversant une des consoles de supportage à l'arrière.

Le pressuriseur est ensuite déposé sur 3 supports dans la casemate. On procède alors au réglage fin du pressuriseur en fonction des repères topographiques. Un relevé des cotes entre les consoles de supportage du pressuriseur et les supports est effectué. ☐

Des butées sont en mises en place sur les murs de la casemate en partie haute du pressuriseur.

La manchette thermique et la crépine sont ensuite installées en fond de pressuriseur après le soudage de la ligne d'expansion.

**TAB-5.4.4.1 CARACTERISTIQUES DES CANNES
CHAUFFANTES DU PRESSURISEUR**

□

**TAB-5.4.4.2 DIMENSIONS ET CARACTERISTIQUES
PRINCIPALES DU PRESSURISEUR**

□

**TAB-5.4.4.3 COMPOSITION CHIMIQUE DU MATERIAU DE
BASE (ANALYSE DU PRODUIT) POUR VIROLES, FOND,
DOME, TUBULURES ET SUPPORTS DE FIXATION
LATERALE**

□

**TAB-5.4.4.4 CALCUL D'ÉPAISSEUR POUR LES PIÈCES
SOUS PRESSION (CHARGE DE PRESSION)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.4

PAGE 18/21

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.4.5 APPROVISIONNEMENT DES PIÈCES PRINCIPALES

□

FIG-5.4.4.1 PRESSURISEUR - COTES PRINCIPALES

□

□

□

FIG-5.4.4.2 NOMENCLATURE

□

□

**FIG-5.4.4.3 AMORTISSEUR DYNAMIQUE DE LA LIGNE
D'EXPANSION**

□

□

SOMMAIRE

.5.4.5 CIRCUITS DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	4
1. FONCTIONS DE SÛRETÉ ET RÔLE FONCTIONNEL	4
1.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ	4
1.2. RÔLE FONCTIONNEL	4
2. CRITÈRES APPLICABLES, HYPOTHÈSES ET CARACTÉRISTIQUES . 5	5
2.1. CRITÈRES APPLICABLES	5
2.2. HYPOTHÈSES ET CARACTÉRISTIQUES RELATIVES AU CIRCUIT DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	5
2.2.1. SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	5
2.2.2. VANNES RÉSERVÉES AUX FONCTIONS GAVÉ OUVERT ET DÉPRESSURISATION EN CAS D'ACCIDENT GRAVE	5
2.2.3. RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	5
3. EXPLICATION DES SCHÉMAS FONCTIONNELS, CONNEXIONS FONCTIONNELLES ET CARACTÉRISTIQUES DES ÉQUIPEMENTS IMPORTANTES	6
3.1. SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	6
3.2. LIGNES DÉDIÉES ACCIDENT GRAVE ET GAVÉ OUVERT	6
3.3. TUYAUTERIES DE DÉCHARGE	6
3.4. RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	7
4. DESCRIPTION	7
4.1. FONCTIONNEMENT NORMAL DU RÉACTEUR (HORS ESSAIS PÉRIODIQUES)	7
4.2. TEST DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	8
4.3. REFROIDISSEMENT DU RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	8
4.4. TRANSITOIRE DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	8
5. BRÈVE DESCRIPTION DE L'OUVERTURE DES SOUPAPES	8
5.1. OUVERTURE DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR . 8	8
5.2. OUVERTURE DES VANNES DEDIEÉES ACCIDENT GRAVE ET GAVÉ OUVERT	9
6. RESPECT DES CRITÈRES, CLASSEMENT, DÉFAILLANCE	9



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.5

PAGE 2/13

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

6.1. CLASSEMENT	9
6.2. CRITÈRE DE DÉFAILLANCE UNIQUE	9
6.3. PROTECTION CONTRE LES AGRESSIONS INTERNES	9
6.4. PROTECTION CONTRE LES AGRESSIONS EXTERNES	9
7. DISPOSITIONS SPÉCIFIQUES POUR ESSAI	10
8. SCHÉMA FONCTIONNEL	10



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.5

PAGE 3/13

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

TAB-5.4.5.1 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES DE DÉCHARGE.....	11
TAB-5.4.5.2 CARACTÉRISTIQUES DU RÉSERVOIR DE DECHARGE DU PRESSURISEUR.....	12
TAB-5.4.5.3 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX PIQUAGES DU RDP	13

.5.4.5 CIRCUITS DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

Par soucis de clarté les vannes dédiées aux accidents graves et au « gavé-ouvert » seront appelées « SAV » au sein de la section 5.4.5. Cependant, les lignes dédiées respectivement aux accidents graves et au « gavé-ouvert » seront différenciées afin de préciser les exigences propres à chaque fonction.

1. FONCTIONS DE SÛRETÉ ET RÔLE FONCTIONNEL

1.1. FONCTIONS DE SÛRETÉ

Le circuit de décharge du pressuriseur collecte et achemine la vapeur et l'eau refoûlées par les soupapes de sûreté du pressuriseur vers le réservoir de décharge du pressuriseur (RDP). Si les disques de rupture éclatent, la vapeur est déchargée dans le bâtiment réacteur au niveau des casemates des pompes primaires [1]. De cette manière, la vapeur dégagée dans l'enceinte dilue l'hydrogène produit dans le cas d'un accident grave (concept d'inertage). Il collecte également le fluide rejeté par les vannes dédiées à la dépressurisation en cas d'accident grave, également connectées au pressuriseur.

Le circuit de décharge du pressuriseur contribue aux fonctions de sûreté du circuit primaire suivantes :

- Participer à l'évacuation de la puissance primaire
 - capacité à remplir la fonction gavé ouvert en ouvrant la ligne de décharge des vannes dédiées au gavé-ouvert (voir § 2.2.2.) du pressuriseur, conjointement avec le démarrage de l'injection de sécurité, pour évacuer la chaleur du cœur du réacteur lors d'événements RRC-A et pour certains types de brèches du système RIS en mode RA,
 - capacité à assurer la dépressurisation du RCP en ouvrant les soupapes de sûreté du pressuriseur pour atteindre l'état d'arrêt sûr (conditions de connexion au système RIS en mode RA), à long terme lors d'événements PCC,
 - capacité à remplir la fonction gavé-ouvert en ouvrant les soupapes de sûreté du pressuriseur ou, si les soupapes de sûreté sont indisponibles, en ouvrant les vannes associées à la dépressurisation en cas d'accident grave pour évacuer la chaleur du cœur du réacteur pour certains types de brèches du système RIS en mode RA.
- Participer au maintien de l'intégrité du confinement
 - les circuits de décharge participent à la protection contre les transitoires de surpression de catégorie 3 et 4 à l'aide des soupapes de sûreté du pressuriseur (intégrité de la deuxième barrière),
 - les circuits de décharge participent à la fonction de décharge pour les incidents courants de fonctionnement à l'aide de la première soupape de sûreté (intégrité de la deuxième barrière),
 - capacité de dépressurisation en cas d'accident grave en utilisant la ligne et les vannes dédiées accident grave, pour éviter la fusion du cœur sous pression (intégrité de l'enceinte de confinement).

1.2. RÔLE FONCTIONNEL

Afin d'éviter le rejet de réfrigérant dans le bâtiment réacteur lors du test des soupapes de sûreté, le réservoir de décharge du pressuriseur récupère et refroidit la totalité du volume de vapeur rejeté lors de ces tests.

Le RDP est également utilisé pour récupérer les fuites potentielles des soupapes de sûreté lors du fonctionnement normal du réacteur. Il permet également la récupération des éventuelles fuites des vannes SAV.

2. CRITÈRES APPLICABLES, HYPOTHÈSES ET CARACTÉRISTIQUES

2.1. CRITÈRES APPLICABLES

Les critères applicables pour la conception du circuit de décharge du pressuriseur sont donnés dans le sous-chapitre 3.2.

Le référentiel de conception des matériels mécaniques du circuit de décharge du pressuriseur est donné dans la section 3.6.3.

2.2. HYPOTHÈSES ET CARACTÉRISTIQUES RELATIVES AU CIRCUIT DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

2.2.1. Soupapes de sûreté du pressuriseur

La base de calcul du dimensionnement du système de protection contre les surpressions du circuit primaire est donnée dans le sous-chapitre 5.2.

□

2.2.2. Vannes réservées aux fonctions gavé ouvert et dépressurisation en cas d'accident grave

La ligne de décharge du pressuriseur dédiée accident grave/gavé ouvert se dédouble en 2 lignes parallèles (1 ligne dédiée accident grave et 1 ligne dédiée gavé ouvert) comportant chacune deux vannes en série. □.

Le dimensionnement d'une ligne et des vannes associées assure :

- l'accomplissement des fonctions de gavé ouvert lors de séquence RRC-A,
- la dépressurisation du circuit primaire lors de situations Accident Grave.

Néanmoins, l'utilisation de l'une ou l'autre de ces 2 lignes de décharge à la fois pour les fonctions gavé-ouvert et dépressurisation en accident grave est envisageable.

2.2.3. Réservoir de décharge du pressuriseur

La conception du RDP est basée sur l'obligation de condenser et de refroidir le volume de vapeur rejeté lors des essais de démarrage et des essais périodiques des soupapes, sans dépasser une température/pression finale donnée dans le réservoir de décharge du pressuriseur.

Les valeurs atteintes pendant le test sont inférieures aux conditions de calcul du RDP.

Les données de calcul du réservoir sont données dans le tableau [TAB-5.4.5.2](#).

Le volume minimum d'eau dans le RDP est déterminé par la teneur en énergie de la vapeur à condenser et refroidir, par la température initiale supposée de l'eau et par la température de fonctionnement finale prévue.

Le volume minimum de gaz dans le RDP (azote) est déterminé par la variation de volume d'eau au cours du transitoire, par la pression de gaz initiale supposée et par la pression de fonctionnement finale prévue.

Si les valeurs de pression/température de fonctionnement finales prévues dans le RDP sont dépassées, le fluide rejeté est envoyé dans l'enceinte au niveau des casemates des pompes primaires □ après rupture mécanique des disques installés dans les tubulures de sortie.

Le RDP et les disques de rupture sont conçus pour confiner le fluide primaire lors des tests des soupapes de sûreté du pressuriseur ou en cas de fuite de ces dernières.

Par ailleurs, pour ce qui concerne les phases court et moyen terme des PCC-2, l'intégrité du RDP est vérifiée au titre des critères techniques d'acceptation des études PCC (voir section 15.0.2), permettant ainsi de confiner le fluide primaire pour ces transitoires pouvant solliciter les soupapes de sûreté du pressuriseur.

Le RDP collecte également les fuites éventuelles des vannes SAV. Il n'y a aucun rejet vers le RDP lors de surpressions de catégorie 2 sauf dans le cas de tests des soupapes de sûreté du pressuriseur.

En cas de soupapes de sûreté non étanches, lors d'un fonctionnement normal de la tranche, le RDP collecte les fuites des soupapes de sûreté. Le gaz collecté est ensuite évacué via le système de traitement des effluents gazeux TEG.

3. EXPLICATION DES SCHÉMAS FONCTIONNELS, CONNEXIONS FONCTIONNELLES ET CARACTÉRISTIQUES DES ÉQUIPEMENTS IMPORTANTS

Le schéma fonctionnel du circuit de décharge du pressuriseur est donné à la figure 5.1 FIG 1.

3.1. SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

Les trois lignes de soupapes du pressuriseur sont suffisantes pour permettre la dépressurisation du circuit primaire principal en cas de surpression.

Chaque ligne est connectée au fond hémisphérique supérieur du pressuriseur via un piquage spécifique.

Les soupapes de sûreté du pressuriseur sont décrites dans la section 5.4.7.

3.2. LIGNES DÉDIÉES ACCIDENT GRAVE ET GAVÉ OUVERT

Le pressuriseur est équipé d'un piquage spécifique qui se dédouble en 2 lignes parallèles (redondance) comportant chacune deux vannes motorisées électriques en série de technologies différentes (diversification mécanique). □

- l'évacuation de la puissance en mode de fonctionnement gavé ouvert lors de séquences RRC-A et pour certains types de brèches du système RIS en mode RA ;
- la dépressurisation du circuit primaire principal en cas d'accident grave.

Le principe d'isolement de ces lignes est décrit dans la section 5.4.8.

3.3. TUYAUTERIES DE DÉCHARGE


Les tuyauteries de décharge du pressuriseur assurent la liaison :

- Entre les soupapes de sûreté du pressuriseur (les soupapes de sûreté étant directement soudées au pressuriseur) et le réservoir de décharge du pressuriseur.
- Entre le pressuriseur et les vannes SAV.
- Entre les vannes SAV et la ligne principale de décharge du pressuriseur.

Les 3 lignes de décharge des 3 soupapes de sûreté ainsi que les 2 lignes provenant des vannes SAV (2 fois deux vannes) sont raccordées au barillet de décharge du pressuriseur. Celui-ci effectue presque un tore complet autour du pressuriseur avant de descendre vers le réservoir de décharge du pressuriseur □.


Ces lignes permettent d'acheminer l'eau, la vapeur ou le mélange vapeur/eau vers le réservoir de décharge du pressuriseur.

Les tuyauteries sont munies de 2 types de supports :

- les blocages unis ou multidirectionnels 




Ces blocages sont utilisés à la fois pour contrôler la répartition des dilatations et pour permettre la tenue des tuyauteries en cas de séisme ou de décharge.


- les Dispositifs Auto-Bloquants (DAB) . Ils limitent les déplacements (et donc les contraintes) provoqués par des accélérations d'origine sismique et/ou des effets dynamiques de décharge, tout en permettant la liberté des déplacements d'origine thermique.

Les tuyauteries sont fabriquées en acier inoxydable austénitique ; les principales caractéristiques de ces lignes sont indiquées au tableau [TAB-5.4.5.1](#).

Cinq connexions provenant du système de traitement des effluents gazeux, juste en aval de chaque sortie des soupapes de sûreté du pressuriseur et des lignes de décharge dédiées gavé-ouvert et accident grave, permettent de balayer en azote les lignes de décharge du pressuriseur via le RDP pour collecter le dihydrogène et les éventuels gaz de fission.

3.4. RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

Le réservoir de décharge du pressuriseur est un récipient cylindrique horizontal avec fonds bombés hémisphériques, protégé contre les surpressions par deux disques de rupture. 

Le réservoir est fabriqué en acier inoxydable austénitique .

Les principales caractéristiques du réservoir de décharge du pressuriseur sont données au tableau [TAB-5.4.5.2](#). Le réservoir est connecté au barillet de décharge via une ligne spécifique, en amont des disques de rupture.

Cette ligne se termine à l'intérieur du RDP : la géométrie de la rampe de décharge à l'intérieur du réservoir est conçue de manière à condenser la vapeur lors des tests des soupapes de sûreté du pressuriseur.

Le RDP est muni de plusieurs connexions :

- Connexion du système de traitement des effluents gazeux (TEG) pour évacuer les gaz de la phase gazeuse du RDP.
- Ligne de vidange vers le circuit des événements, purges et exhaures RPE pour le refroidissement ou la vidange du réservoir.
- Canalisation de retour du RPE pour le refroidissement du réservoir.
- Ligne de remplissage provenant du circuit de distribution d'eau déminéralisée (SED) pour ajuster le volume d'eau dans le réservoir.
- Ligne casse-vide reliant la phase gazeuse du RDP au barillet de décharge.

La canalisation de retour du RPE et la ligne de remplissage provenant du SED se rejoignent dans un barillet d'aspersion se trouvant à l'intérieur du RDP.

Les tuyauteries connectées sont fabriquées en acier inoxydable austénitique, les principales caractéristiques de ces lignes sont indiquées au tableau [TAB-5.4.5.3](#).

4. DESCRIPTION

4.1. FONCTIONNEMENT NORMAL DU RÉACTEUR (HORS ESSAIS PÉRIODIQUES)

Les soupapes de sûreté du pressuriseur ainsi que les vannes SAV sont fermées.

Les disques de rupture isolent le barillet de décharge de l'enceinte vers les casemates.



Le balayage du barillet de décharge et de la phase gazeuse du RDP est effectué par :

- une injection d'azote par les connexions TEG en aval des soupapes de sûreté du pressuriseur,
- une évacuation de l'azote par la connexion TEG sur le réservoir de décharge du pressuriseur (barbotage d'azote dans l'eau du RDP).

4.2. TEST DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

La vapeur rejetée par les soupapes de sûreté du pressuriseur est condensée et refroidie dans le réservoir de décharge du pressuriseur. Le RDP et les disques de rupture sont dimensionnés de manière à permettre le test de toutes les soupapes sans provoquer de rupture des disques.

Les tests de manœuvrabilité des soupapes de sûreté du pressuriseur par les pilotes solénoïdes et les pilotes mécaniques sont effectués avec une pression primaire de 40 bar abs. La durée estimée d'ouverture pour chaque soupape est prise égale à 20 s (valeur conservative).

Après ouverture de chaque soupape de sûreté pour test, la ligne casse-vide du RDP empêche que le vide se fasse dans la conduite de décharge à la suite de la condensation de la vapeur.

4.3. REFROIDISSEMENT DU RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

Le refroidissement du RDP est effectué en cas de dépassement de la température de consigne, en boucle fermée à l'aide des pompes RPE et de l'échangeur thermique associé.

Suite à un essai de décharge des soupapes de sûreté, il est possible de dépressuriser le RDP via la ligne de dégazage et la vanne de dépressurisation, afin de diminuer la pression dans le RDP ($P < 4\text{bar abs}$).

4.4. TRANSITOIRE DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

Le fluide rejeté est d'abord acheminé vers le réservoir de décharge du pressuriseur, jusqu'à ce que la pression dans le circuit atteigne la pression de tarage des disques de rupture (hors situation PCC-2).

Après rupture des disques, le fluide est évacué à l'intérieur de l'enceinte et le RDP ne remplit plus aucune fonction.

En cas d'ouvertures répétées des soupapes de sûreté du pressuriseur, la ligne casse-vide sur le barillet de décharge empêche que le vide se fasse dans la conduite à la suite de la condensation de la vapeur après chaque fermeture de soupape.

5. BRÈVE DESCRIPTION DE L'OUVERTURE DES SOUPAPES

5.1. OUVERTURE DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

Il existe trois modes d'ouverture différents pour chaque soupape de sûreté du pressuriseur :

- Chaque soupape de sûreté du pressuriseur est ouverte par dépendance hydraulique lorsque la pression atteint le point de consigne de son pilote à ressort :
 - lors de certains transitoires courants de fonctionnement (la première soupape de sûreté est ouverte),
 - lors de transitoires de surpression de catégorie 3 ou 4 du RCP à chaud.

- L'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur est commandée de façon automatique, lors de transitoires de surpression de catégorie 3 ou 4 du RCP en état d'arrêt à froid, par un dispositif de contrôle commande dédié incluant :
 - la validation des permissifs nécessaires à l'ouverture automatique des soupapes via les pilotes solénoïdes,
 - l'ouverture automatique des soupapes par commande électrique des robinets solénoïdes si le seuil de pression est atteint.
- A la suite d'une action manuelle de l'opérateur provoquant une ouverture des soupapes via la commande électrique des robinets solénoïdes pour la dépressurisation du RCP. L'ouverture intervient :
 - dans la phase long terme d'un événement PCC,
 - lors de certains transitoires avec brèche du système RIS en mode RA en état d'arrêt à froid.

5.2. OUVERTURE DES VANNES DEDIEES ACCIDENT GRAVE ET GAVÉ OUVERT

L'ouverture de ces vannes spécifiques lors de certains transitoires avec brèche du système RIS en mode RA, de séquences RRC-A et Accident Grave est effectuée □ depuis la salle de commande principale.

De plus, des dispositifs de verrouillage sont prévus afin de fiabiliser la commande d'ouverture des lignes d'accident grave et gavé ouvert, vis-à-vis de la problématique d'ouverture intempestive. L'ouverture n'est possible que si :

- depuis le MCP, une action préalable a été effectuée sur un bouton poussoir implanté au PIPO,
- depuis le PAG, une action préalable a été effectuée sur un bouton poussoir de validation de commande spécifique.

6. RESPECT DES CRITÈRES, CLASSEMENT, DÉFAILLANCE

6.1. CLASSEMENT

Le classement de sûreté du circuit primaire, y compris le circuit de décharge du pressuriseur, est décrit dans le sous-chapitre 3.2.

6.2. CRITÈRE DE DÉFAILLANCE UNIQUE

Le critère de défaillance unique s'applique à l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur. La non fermeture après sollicitation à l'ouverture d'une soupape est exclue du champ d'application de l'aggravant unique.

Le Critère de défaillance unique s'applique au maintien en position fermée des vannes de dépressurisation en situations incidentelles et/ou accidentelles pour ce qui se rapporte à la fonction d'isolement du RCP.

6.3. PROTECTION CONTRE LES AGRESSIONS INTERNES

La démonstration de la robustesse de l'installation aux agressions internes relève du sous-chapitre 3.4.

6.4. PROTECTION CONTRE LES AGRESSIONS EXTERNES

La démonstration de la robustesse de l'installation aux agressions externes relève du sous-chapitre 3.3.

7. DISPOSITIONS SPÉCIFIQUES POUR ESSAI

Dans ce paragraphe, seul les essais périodiques sont décrits.

Le réservoir de décharge du pressuriseur et les disques de rupture permettent le test de manoeuvrabilité des soupapes de sûreté du pressuriseur, par les pilotes mécaniques et par les pilotes solénoïdes, avec une pression RCP peu élevée (40 bar abs), sans décharger dans l'enceinte.

La vérification du point de tarage des pilotes mécaniques est réalisée avec un primaire dépressurisé (sans aucune ouverture de soupapes).

8. SCHÉMA FONCTIONNEL

Le circuit de décharge du pressuriseur est présenté dans les schémas fonctionnels du sous-chapitre 5.1 (voir figure 5.1 FIG 1).

TAB-5.4.5.1 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES DE DÉCHARGE

□

**TAB-5.4.5.2 CARACTÉRISTIQUES DU RÉSERVOIR DE
DECHARGE DU PRESSURISEUR**

□

TAB-5.4.5.3 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX PIQUAGES DU RDP

□

SOMMAIRE

.5.4.6 ROBINETS	3
1. DESCRIPTION	3
1.1. CLASSEMENT SÛRETÉ	3
1.2. BASES DE CONCEPTION	3
1.3. TYPES DE ROBINETS	4
1.3.1. CLAPETS DE NON RETOUR À BATTANT OU À SOUPE	4
1.3.2. VANNES À COIN FLEXIBLE À COMMANDE ÉLECTRIQUE DE DN SUPÉRIEUR À 150	5
1.3.3. ROBINETS À SOUPE D'ISOLEMENT	5
1.3.4. ROBINETS RÉGLANT D'ASPERSION DU PRESSURISEUR	6
2. CONCEPTION MÉCANIQUE	7
2.1. CONDITIONS D'ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE	7
2.2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	7
3. MATÉRIAUX	7
3.1. CHOIX DES MATÉRIAUX	7
3.2. RECETTES	7
4. PROGRAMME DE FABRICATION	7
5. INSTALLATION	8
6. MAINTENANCE	8
7. ESSAIS	9

TABLEAUX :**TAB-5.4.6.1 LISTE DES ROBINETS DU CPP DE DN \geq 25..... 10****FIGURES :****FIG-5.4.6.1 SCHÉMA DE PRINCIPE DU CLAPET DE NON RETOUR À
SOUPAPE BLOCABLE 11**
**FIG-5.4.6.2 SCHÉMA DE PRINCIPE DU CLAPET DE NON RETOUR À
BATTANT 12**
**FIG-5.4.6.3 SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA VANNE À COIN FLEXIBLE À
COMMANDE ÉLECTRIQUE 13**
FIG-5.4.6.4 SCHÉMA DE PRINCIPE DU ROBINET À SOUPAPE 14
**FIG-5.4.6.5 SCHÉMA DE PRINCIPE DU ROBINET RÉGLANT D'ASPERSION
DU PRESSURISEUR 15**

.5.4.6 ROBINETS

Cette section traite des robinets du Circuit Primaire Principal (CPP) dont le Diamètre Nominal (DN) est supérieur ou égal à 25.

1. DESCRIPTION

1.1. CLASSEMENT SÛRETÉ

Les robinets du CPP jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

1.2. BASES DE CONCEPTION

Au titre de l'arrêté relatif aux Équipements Sous Pression Nucléaires (ESPN), tous les robinets traités par cette section sont classés de niveau radiologique N1 (voir section 3.6.2). Ce sont des matériels assurant l'intégrité de l'enceinte sous pression faisant partie du circuit primaire principal. Ils sont soumis au code de construction nucléaire RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) et conçus et fabriqués selon RCC-M Niveau 1 (ou RCC-M Niveau 2, pour les robinets DN25 situés en aval d'un restricteur de débit permettant leur déclassement (cf. section 3.6.2).

La robinetterie du circuit primaire en contact avec le fluide radioactif à haute pression doit satisfaire aux exigences générales suivantes :

- 1) Les appareils constituent des enceintes sous pression.
- 2) L'étanchéité externe est aussi parfaite que possible.
- 3) L'étanchéité interne est aussi parfaite que possible.
- 4) Les appareils sont de conception éprouvée.
- 5) Les appareils d'isolement sont munis de commande manuelle.

Pour satisfaire ces exigences, les solutions de base suivantes sont retenues :

point a

Les enceintes sous pression sont calculées et éprouvées suivant le code RCC-M[].

point b

L'étanchéité externe est assurée par :

- un soufflet et un presse garniture simplifié comme second isolement en cas de défaillance du soufflet ou à l'aide de jeux de garnitures et d'un tube de reprise de fuite intermédiaire, relié à un ballon de décharge où les fuites sont comptabilisées,
- des joints corps-chapeau.

point c

L'étanchéité interne est réalisée par contact métal-métal de l'opercule sur le siège. Elle présente une bonne résistance à l'usure, à l'érosion et à la corrosion.

Un revêtement dur [] est utilisé sur les robinets DN≥80[]. Pour les robinets DN<80, les obturateurs et les sièges sont :

- soit des pièces en acier à base nickel obtenues par compression isostatique à chaud,
- soit des pièces en acier martensitique durci,

- soit des pièces en acier austénitique avec un revêtement dur□.

point d

Les matériels sont fabriqués par des fournisseurs expérimentés ; la plupart des technologies ont été éprouvées dans des installations nucléaires similaires. De plus, les appareils d'isolement du circuit primaire principal font l'objet d'un dossier de qualification en conditions normales et accidentelles. Ces dossiers de qualifications sont réalisés par analyses à partir d'un dossier existant sur un matériel similaire, ou ils font l'objet de nouveaux essais.

Ces essais, effectués sur boucles, permettent de vérifier le bon fonctionnement des appareils en conditions normales et/ou accidentelles.

point e

Les vannes et robinets motorisés sont équipés d'origine d'une commande manuelle de secours.

1.3. TYPES DE ROBINETS

Les paragraphes ci-après décrivent les robinets du CPP de diamètres nominaux supérieurs ou égaux à 25 à l'exception des soupapes de sûreté du pressuriseur, traitées dans la section 5.4.7 et des vannes spécifiques pour la réalisation du gavé-ouvert et de la dépressurisation en accidents graves, traitées dans la section 5.4.8.

La liste complète des robinets de DN ≥ 25 avec la désignation du repère fonctionnel, du diamètre nominal et du fournisseur est donnée dans le tableau [TAB-5.4.6.1](#).

1.3.1. Clapets de non retour à battant ou à soupape

1.3.1.1. Rôle

Les clapets de non retour sont utilisés pour :

- isoler le circuit d'injection de sécurité (RIS-RA) du circuit primaire, tout en permettant une ouverture rapide et autonome pour l'injection d'eau borée, en cas de dépressurisation du circuit primaire,
- isoler les lignes de charge, d'aspersion auxiliaire et d'injection au joint n°1 des pompes primaires du circuit de contrôle volumétrique et chimique (RCV) du circuit primaire, tout en permettant le passage du fluide en provenance du RCV vers le RCP,
- isoler les lignes du système de borication de sécurité (RBS) du circuit primaire, tout en permettant une ouverture instantanée et autonome pour l'injection d'eau borée.

Les figures [FIG-5.4.6.1](#) et [FIG-5.4.6.2](#) présentent les schémas de principe des clapets de non retour à soupape blocable et des clapets de non retour à battant.

1.3.1.2. Objectifs recherchés

Les objectifs recherchés sont :

- la fiabilité de fonctionnement,
- l'étanchéité externe,
- l'étanchéité interne,
- la perte de charge (dans certains cas).

1.3.1.3. Solutions retenues

Deux types de clapets sont retenus :

- les clapets à battant dont les frottements au niveau de l'axe sont minimisés (pas d'étanchéité axe corps à assurer) et le battant est libre.
- les clapets à soupape dont les frottements entre l'obturateur et le guide sont aussi minimisés et l'obturateur est libre.

L'étanchéité externe est assurée à l'aide de joints encastrés.

Pour ces robinets, aucun axe ne débouche à l'extérieur sauf pour les clapets blocables. Les fuites externes sont nulles.

Certains clapets de non retour sont pourvus d'un système de blocage manuel. Ces systèmes de blocage sont notamment utilisés pour la maintenance, lors des phases d'arrêt de tranche. L'étanchéité externe, entre la tige de manœuvre et le chapeau, est obtenue grâce à un presse garniture.

1.3.2. Vannes à coin flexible à commande électrique de DN supérieur à 150

1.3.2.1. Rôle

Les vannes à commande électrique sont utilisées pour l'isolement du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RIS-RA en mode RA). Ces vannes restent en position en cas de perte de l'alimentation électrique.

La figure [FIG-5.4.6.3](#) présente le schéma de principe des vannes à coin flexible à commande électrique.

1.3.2.2. Objectifs recherchés

Les objectifs recherchés sont :

- l'étanchéité externe,
- l'étanchéité fonctionnelle,
- la fiabilité de fonctionnement.

1.3.2.3. Solutions retenues

Les vannes retenues sont du type à opercule à coin flexible guidé, avec motorisation électrique.

L'étanchéité fonctionnelle est assurée par la face aval du coin. La cavité inter-opercule est reliée à l'amont du robinet pour éviter l'effet chaudière.

L'usure des surfaces d'étanchéité est minimisée, le contact coin siège ne se faisant qu'en phase finale de la course. Les arrêts des vannes en position ouverte ou fermée se font à l'aide de contacts de fin de course pour l'ouverture et du limiteur de couple contenu dans le servomoteur pour la fermeture.

1.3.3. Robinets à soupape d'isolement

1.3.3.1. Rôle

Ces robinets sont utilisés pour isoler le circuit primaire du système RCV (ligne de décharge, reprise de fuite des joints n° 1 des pompes primaires), et du système RPE (ligne de dégazage et d'éventage du pressuriseur, ligne d'éventage de la cuve). Ils sont également utilisés pour isoler les lignes reliées aux capteurs de niveau et de pression. Ils sont soit à commande manuelle, soit à commande électrique. Ces robinets restent en position en cas de perte de l'alimentation électrique.

Le schéma de principe du robinet à soupape est présenté sur la figure [FIG-5.4.6.4](#).

1.3.3.2. Objectifs recherchés

Les objectifs recherchés sont :

- l'étanchéité externe,
- l'étanchéité fonctionnelle,
- la fiabilité de fonctionnement.

1.3.3.3. Solutions retenues

Les robinets à soupape d'isolement retenus sont de deux types :

- robinets à soupape à presse garniture,
- robinets à soupape à soufflet.

Les robinets de DN ≤ 150 assurant une fonction de confinement et véhiculant du fluide radioactif sont des robinets à soupape équipés d'un soufflet afin d'assurer une étanchéité externe absolue.

1.3.4. Robinets réglant d'aspersion du pressuriseur

1.3.4.1. Rôle

Ces robinets assurent l'injection d'eau en provenance des branches froides des boucles 2 et 3, dans la phase vapeur du pressuriseur. Ils sont à commande électromagnétique et sont en position fermée en cas de perte d'alimentation.

En fonctionnement normal, les robinets situés sur les deux lignes principales d'aspersion normale sont utilisés par la régulation de la pression primaire. Le débit à travers les robinets augmente quand la pression primaire doit être réduite.

En situation PCC-2, les robinets réglant d'aspersion du pressuriseur sont utilisés pour dépressuriser le circuit primaire sans décharger dans le bâtiment réacteur.

Sur chacune des lignes d'aspersion normale, une autre vanne est installée en contournement du robinet ci-dessus afin d'assurer un débit continu dans la ligne en fonctionnement normal pour minimiser les transitoires thermiques et équilibrer la concentration en bore entre les boucles et le pressuriseur lorsque les vannes principales d'aspersion normale sont fermées.

Le schéma de principe des robinets réglants d'aspersion du pressuriseur est présenté sur la figure [FIG-5.4.6.5](#).

1.3.4.2. Objectifs recherchés

Les objectifs recherchés sont :

- l'étanchéité externe,
- le réglage du débit,
- la fiabilité de fonctionnement.

1.3.4.3. Solution retenue

Pour les vannes principales, des robinets actionnés par un pilote solénoïde ont été retenus pour garantir un faible temps de réponse.

Les vannes installées en contournement sont des vannes réglantes manuelles à butée mécanique.

2. CONCEPTION MÉCANIQUE

2.1. CONDITIONS D'ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE

Les enceintes sous pression des appareils du circuit primaire principal sont conçues suivant les règles du RCC-M :

□

Ces règles permettent de s'assurer que les contraintes restent acceptables dans les composants de l'enceinte, sous l'influence des charges primaires, secondaires, et des transitoires thermiques. Ces règles imposent aussi le respect d'épaisseurs minimales.

2.2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

La capacité des robinets à fonctionner correctement pendant les conditions normales et accidentelles est démontrée par des vérifications analytiques tenant compte des exigences de fonctionnement des systèmes sur lesquels ils sont montés.

La composition chimique du fluide primaire est analysée périodiquement afin de vérifier que celle-ci soit en phase avec les spécifications.

Les exigences et procédures mentionnées ci-dessus, couplées aux dispositifs précédemment décrits pour réduire au minimum les fuites, permettent aux robinets de remplir leurs fonctions tout au long du fonctionnement de la tranche.

3. MATÉRIAUX

3.1. CHOIX DES MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés pour les composants de l'enceinte sous pression sont conformes aux spécifications techniques du code RCC-M (à l'exception des robinets spécifiques pour la dépressurisation en accidents graves, voir section 5.4.8) ou aux normes européennes harmonisées le cas échéant.

Les éléments de robinetterie nécessitant un dépôt dur (notamment obturateurs et sièges) utilisent soit des pièces en alliage à base de Nickel obtenues par compression isostatique à chaud soit des pièces avec un revêtement dur en alliage à base Fer □.

3.2. RECETTES

Les essais et contrôles suivants sont effectués sur les recettes :


- analyse chimique : un examen à la coulée et sur pièce est pratiqué pour toutes les pièces soumises à la pression ou en contact avec le fluide du circuit primaire (corps – chapeau – opercule – siège ...) et pour toutes les pièces soumises à des contraintes (tige de manœuvre, boulonnerie), conformément au □ RCC-M. La composition chimique est conforme aux exigences du □ RCC-M ou à des spécifications techniques particulières ou aux normes européennes harmonisées le cas échéant,
- essai de corrosion intercrystalline sur lingotin d'essai selon le □ RCC-M ou des spécifications techniques particulières ou les normes européennes harmonisées le cas échéant.

4. PROGRAMME DE FABRICATION


principe de construction

Les appareils sont obtenus par forge.


traitement thermiquesoudage

Pour les joints soudés et les revêtements durs, les procédés de soudage sont homologués, les soudeurs et les opérateurs sont qualifiés suivant le  RCC-M.

revêtement dur

Le revêtement est réalisé suivant les prescriptions du  RCC-M.

contrôles non destructifs

Les corps, chapeaux, dispositifs d'obturation, sièges, boulonnerie sont soumis à des contrôles non destructifs à 100 % (ultrasons, ressuage, ...) sur les matières premières, et/ou après usinage, et après réparations éventuelles, conformément au  RCC-M.

qualification

La qualification des robinets est réalisée selon les exigences du sous-chapitre 3.7.

5. INSTALLATION

Les robinets sont situés à l'intérieur de l'enceinte. Leur emplacement est choisi tel que leur température, centrale en fonctionnement, soit la plus basse possible.

Les robinets sont raccordés, par soudure, sur les tuyauteries propres et exemptes de corps étrangers.

Sur chaque embout de robinets, des bouchons de protection sont installés et sont retirés juste avant les opérations de soudage.

L'intérieur de l'appareil est contrôlé pour vérifier l'absence de corps étrangers.

Le raccordement des matériels électriques (actionneurs, capteurs fins de course, ...) est exécuté par du personnel qualifié et ces raccordements sont ensuite vérifiés.

La position, horizontale ou verticale, des robinets est vérifiée.

Les embouts des robinets et les soudures sont inspectables par des contrôles non-destructifs.

6. MAINTENANCE

Les robinets sont conçus de façon à faciliter leur maintenance :

- les robinets à soupape et clapets à soupape de DN ≤ 150 sont à maintenance allégée. La maintenance allégée est communément appelée « Maintenance modulaire » : des modules de pièces sont interchangeables afin de minimiser les temps d'intervention sur ligne.
- le poids des différents composants a été minimisé pour faciliter leur manipulation.
- la conception des robinets est, telle que, les contrôles non destructifs sont facilités, par la présence d'embouts allongés au niveau des soudures amont et aval. Cette conception permet en plus des contrôles radiographiques, de proposer des géométries compatibles avec la réalisation de contrôles US en automatique.
- la conception des robinets est faite pour éviter, au maximum, toute accumulation de dépôt radioactif à l'intérieur.

- la fiabilité des robinets est optimisée. La durée, entre chaque opération de maintenance, est donc allongée.

7. ESSAIS

En fin de fabrication, tous les appareils du circuit primaire sont soumis aux essais suivants, en séquence :

- épreuve hydraulique de résistance de l'enceinte de pression selon RCC-M¹,
- essai d'étanchéité externe,
- essai de résistance de l'obturateur,
- essai d'étanchéité interne,
- essais de fonctionnement mécanique : ils permettent de vérifier le temps de manœuvre et le bon fonctionnement des servomoteurs.

Au titre de l'arrêté du 10 novembre 1999, un certain nombre de robinets est soumis à un examen visuel externe lors de l'épreuve du CPP. Cet examen, associé aux contrôles de la tuyauterie a pour but de vérifier l'absence de fuite externe.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.6

PAGE 10/15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.6.1 LISTE DES ROBINETS DU CPP DE DN \geq 25

□

FIG-5.4.6.1 SCHÉMA DE PRINCIPE DU CLAPET DE NON RETOUR À SOUPAPE BLOCABLE

FIG-5.4.6.2 SCHÉMA DE PRINCIPE DU CLAPET DE NON RETOUR À BATTANT

**FIG-5.4.6.3 SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA VANNE À COIN FLEXIBLE
À COMMANDE ÉLECTRIQUE**

FIG-5.4.6.4 SCHÉMA DE PRINCIPE DU ROBINET À SOUPE

□

FIG-5.4.6.5 SCHÉMA DE PRINCIPE DU ROBINET RÉGLANT D'ASPERSION DU PRESSURISEUR



SOMMAIRE

.5.4.7 SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	3
1. CONCEPTION	3
2. CLASSEMENT DE SURETE	3
3. INSTALLATION	3
4. RÔLE DE SÛRETÉ	4
5. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	4
6. QUALIFICATION	5
7. ESSAIS PÉRIODIQUES	5
8. MATÉRIAUX	6

TABLEAUX :

TAB-5.4.7.1 CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	7
TAB-5.4.7.2 SOUPAPE DE SÛRETÉ PRESSURISEUR SEMPELL MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS	8

FIGURES :

FIG-5.4.7.1 DISPOSITION GÉNÉRALE DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	9
FIG-5.4.7.2 SOUPAPE DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR	10

.5.4.7 SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

Les soupapes de sûreté du pressuriseur assurent la protection du circuit primaire vis-à-vis des surpressions à chaud, des surpressions à froid, permettent d'effectuer la dépressurisation sûre du circuit primaire jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et permettent l'évacuation de la chaleur du cœur pour certains types de brèches du système RIS en mode RA.

1. CONCEPTION

Les soupapes de sûreté, au nombre de trois, sont connectées au sommet du pressuriseur et installées sur des lignes indépendantes les unes des autres et étagées en pression.

Le dimensionnement des soupapes de sûreté est directement lié aux exigences concernant la protection du circuit primaire en cas de surpression (voir sous-chapitre 5.2). □

2. CLASSEMENT DE SURETE

Les parties du système soupape de sûreté du pressuriseur jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

3. INSTALLATION

Les caractéristiques de dimensionnement des soupapes de sûreté sont données dans le tableau [TAB-5.4.7.1](#).

Chaque soupape est directement connectée au dôme du pressuriseur au travers de la ligne d'admission. Chaque soupape possède sa propre ligne de décharge. Les trois lignes de décharge en parallèle rejoignent un collecteur commun, dirigée vers le réservoir de décharge du pressuriseur (RDP), qui reçoit également la décharge des deux lignes dédiées au gavé-ouvert et aux accidents graves. La disposition générale est présentée en figure [FIG-5.4.7.1](#). Une écope est soudée dans le pressuriseur, en amont de chaque ligne d'admission, pour assurer la présence d'un bouchon d'eau en amont de la soupape et ainsi éviter toute accumulation d'hydrogène au niveau des soupapes. Les soupapes sont connectées à la tuyauterie, amont par soudure et aval par bride.

Les soupapes de sûreté sont des soupapes pilotées de type SEMPELL □. Les soupapes SEMPELL sont de type « à pression sur le clapet ». Elles s'ouvrent sous l'effet d'une différence de pression entre le volume de contrôle de la soupape situé au dessus de l'opercule et le volume amont. Ce volume amont est lui-même connecté au pressuriseur. Le volume de contrôle est connecté au fluide du pressuriseur par un orifice situé sur l'opercule. Chaque soupape est munie de deux pilotes « chauds » à ressort □ et d'un pilote solénoïde □ (ce pilote se compose de deux robinets solénoïdes en série) (voir figure [FIG-5.4.7.2](#)).

En fonctionnement normal, un pilote à ressort □ est disponible et le second est isolé par cinq robinets manuels. Un interverrouillage séquentiel à clés captives interdit l'isolement et la mise en service simultanés des deux pilotes en dehors des situations d'EP.

Pour la protection du CPP contre les surpressions à chaud, l'ouverture du pilote □ lors du dépassement de sa pression de tarage entraîne l'ouverture de la soupape principale. Les pilotes □ sont fixés au corps de la soupape via les robinets d'isolement □ et reliés au pressuriseur, par une ligne d'asservissement.

Le pilote à solénoïde □ est utilisé pour manœuvrer chaque soupape pour la protection du CPP contre les surpressions à froid, pour effectuer la dépressurisation sûre du circuit primaire en situation post accidentelle pour rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et pour évacuer la chaleur du cœur pour certains types de brèches du système RIS en mode RA.

Les deux robinets solénoïdes sont disposés en série afin de prévenir une ouverture intempestive de la soupape et d'assurer sa refermeture.

4. RÔLE DE SÛRETÉ

Les soupapes du pressuriseur participent à la sûreté de la tranche via :

- Protection du circuit primaire contre les transitoires de surpressions « à chaud » ;
- Protection du circuit primaire contre les surpressions en accidents graves ;
- Protection du circuit primaire contre les transitoires de surpressions « à froid » ;
- Dépressurisation du circuit primaire pour rejoindre l'arrêt à froid ;
- Evacuation de la chaleur du cœur pour certains types de brèches du système RIS en mode RA.

La première soupape de sûreté participe à la fonction de décharge pour les incidents courants de fonctionnement (pour certains transitoires PCC-2).

Chaque soupape est équipée d'un capteur de position, qualifié aux conditions accidentelles (voir sous-chapitre 3.7) permettant de détecter l'ouverture ou la fermeture de la soupape.

Des mesures de températures sont effectuées sur les lignes d'asservissement des pilotes à ressort , sur les lignes de décharge des pilotes à ressort et des pilotes à solénoïde ainsi qu'en amont de la soupape et sur les corps des pilotes . Une augmentation de température indiquant, respectivement la fuite d'un pilote , une fuite d'un pilote à ressort ou d'un pilote à solénoïde , la perte du bouchon d'eau chaude (lorsque le réacteur est en puissance ou en arrêt à chaud) et la fuite d'un pilote . L'ensemble des informations relevées via les capteurs est relayé en salle de commande.

En situation AN/RIS-RA sous le seuil d'activation des alarmes basées sur les mesures de température () et à l'état monophasique, la détection de fuites est assurée par la détection d'un niveau élevé du réservoir de décharge du pressuriseur (RDP).

5. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

La protection contre les surpressions à chaud est requise dans les états A et B du réacteur. Pour la protection du circuit primaire à chaud, les soupapes de sûreté du pressuriseur fonctionnent en mode passif par l'intermédiaire des pilotes à ressort . Elles s'ouvrent par la seule action de la pression primaire sans intervention du contrôle-commande à l'atteinte d'un point de tarage fixé. Les points de tarage entre la première soupape et les deuxième et troisième soupapes sont échelonnés pour limiter le nombre de soupapes sollicitées pendant la majorité des transitoires attendus.

Les soupapes sont spécifiées pour :

- un débit unitaire massique minimum de t/h de vapeur saturée à bar abs,
- un débit unitaire massique maximal de t/h de vapeur saturée à bar abs,
- un débit unitaire massique minimal de t/h d'eau pour bar abs.

Ce qui permet de garantir le respect de l'ensemble des critères de protection du circuit primaire contre les surpressions à chaud, contre les surpressions à froid, pour la dépressurisation du circuit primaire et pour l'évacuation de la chaleur du cœur du réacteur pour certains types de brèches du système RIS en mode RA.

Cette protection contre les surpressions est également requise en début d'accidents graves avant l'ouverture de la ligne dédiée.

La protection contre les surpressions à froid est requise dans l'état C du réacteur. Pour la protection contre les surpressions à froid, l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur est commandée

par un signal spécifique émis par le système de protection RPR agissant sur les deux robinets solénoïdes du pilote solénoïde [] montés en parallèle des pilotes à ressort. Le débit massique minimum requis par soupape permet à une soupape de couvrir 100% de la capacité requise pour assurer la fonction de protection du circuit primaire contre les surpressions à froid.

Afin de réaliser la dépressurisation du circuit primaire, l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur est commandée manuellement par l'opérateur depuis le MCP ou depuis le MCS par un signal spécifique agissant sur le pilote solénoïde [] monté en parallèle des pilotes à ressort. Le débit massique minimum requis par soupape permet à une soupape de couvrir 100% de la capacité requise pour assurer la fonction de dépressurisation du circuit primaire pour rejoindre l'arrêt à froid.

Afin d'évacuer la chaleur du cœur du réacteur pour certains types de brèches du système RIS en mode RA, l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur est commandée manuellement par l'opérateur depuis le MCP ou le MCS par un signal agissant sur le pilote solénoïde []. Les trois soupapes sont nécessaires pour couvrir 100% de la capacité requise pour assurer la fonction d'évacuation de la chaleur du cœur.

6. QUALIFICATION

Cette soupape est installée sur un grand nombre de centrale allemandes, mais avec un pilote à ressort différent de celui utilisé sur les soupapes pilotées du réacteur EPR. Cependant, ce pilote est déjà utilisé sur la centrale de Goesgen en Suisse, dans un mode différent du réacteur EPR (mode pressurisé en fonctionnement).

Le fonctionnement des soupapes de sûreté a été éprouvé durant les tests de qualification aux conditions normales effectués sur la boucle VPE à Karlstein (site Framatome) et Columbus à Porcheville (site EDF). Ces tests ont permis de vérifier la manœuvrabilité des soupapes de sûreté [].

Le fonctionnement des soupapes de sûreté a été éprouvé durant les tests de qualification aux conditions accidentelles effectués à Karlstein pour les essais représentatifs des surpressions à froid et à Porcheville pour les essais représentatifs des surpressions à chaud.

Aussi, des essais de vibration et de séisme sont réalisés à SOPEMEA au titre de la qualification aux conditions accidentelles des soupapes de sûreté du pressuriseur.

Le pilote mécanique à ressort [] a fait l'objet d'essais supplémentaires sur la boucle KOPRA à Erlangen (site Framatome) destinés à compléter sa caractérisation et à requalifier le pilote suite à une évolution de conception [].

De plus, le fonctionnement du système complet est validé lors des tests fonctionnels de démarrage à chaud à 155 bar abs, et durant les essais périodiques à 40 bar abs, à chaque rechargement.

Les soupapes de sûreté du pressuriseur sont qualifiées afin de prouver l'opérabilité pendant séisme et en ambiance dégradée de pression, température, irradiation et chimique.

Des déflecteurs sont installés au sein de la soupape [] au niveau de la connexion de la ligne d'alimentation de chaque pilote à ressort [] afin de prévenir l'entraînement d'éventuelles particules présentes dans le pressuriseur dans le pilote [].

[]

7. ESSAIS PÉRIODIQUES

À chaque rechargement, les essais suivants sont effectués :

- Vérification de la pression de tarage et de refermeture des pilotes mécaniques à l'aide d'un banc de tarage.

- Manœuvrabilité des soupapes actionnées par le pilote solénoïde.
- Manœuvrabilité des soupapes actionnées par les pilotes mécaniques à l'aide d'un banc d'essai.

8. MATÉRIAUX

Les matériaux des pièces de la soupape principale sont indiqués dans le tableau [TAB-5.4.7.2](#). Les compositions chimiques de ces matériaux sont conformes au RCC-M.

TAB-5.4.7.1 CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.7

PAGE 8/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.7.2 SOUPAPE DE SÛRETÉ PRESSURISEUR
SEMPELL MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS**

□

edf	FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	4.7
				CHAPITRE	5	PAGE	9/10

FIG-5.4.7.1 DISPOSITION GÉNÉRALE DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR

□

FIG-5.4.7.2 SOUPAPE DE SÛRETÉ DU PRESSURISEUR



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.8

PAGE 1/7

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.5.4.8 VANNES SPÉCIFIQUES POUR LA DÉPRESSURISATION EN RRC-A ET EN ACCIDENT GRAVE	3
1. CONCEPTION	3
2. CLASSEMENT DE SURETE	3
3. INSTALLATION	3
4. RÔLE DE SÛRETÉ	3
5. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	3
6. QUALIFICATION	4
7. MATÉRIAUX	4



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.8

PAGE 2/7

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

TAB-5.4.8.1 CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DES « SAV » 5

TAB-5.4.8.2 « SAV » - MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX COMPOSANTS 6

FIGURES :


**FIG-5.4.8.1 DISPOSITION GÉNÉRALE DES VANNES DÉDIÉES RRC-A ET
ACCIDENT GRAVE 7**

.5.4.8 VANNES SPÉCIFIQUES POUR LA DÉPRESSURISATION EN RRC-A ET EN ACCIDENT GRAVE

Par soucis de clarté les vannes dédiées aux accidents graves et au « gavé-ouvert » seront appelées « SAV » au sein de la section 5.4.8. Cependant, les lignes dédiées respectivement aux accidents graves et au « gavé-ouvert » seront différenciées afin de préciser les exigences propres à chaque fonction.

1. CONCEPTION

Les « SAV », correspondant au couple composé par une vanne à sièges parallèles et un robinet à soupape, sont connectées au sommet du pressuriseur et installées sur deux lignes indépendantes.

Le dimensionnement des « SAV » est directement lié aux exigences concernant la protection du circuit primaire lors des accidents graves, ou pour remplir la fonction de « gavé-ouvert ». 


2. CLASSEMENT DE SURETE

Les parties des SAV jouant un rôle vis-à-vis de la sûreté doivent faire l'objet d'un classement de sûreté conformément aux règles de classement indiquées à la section 3.2.1.

3. INSTALLATION

Les caractéristiques fonctionnelles des « SAV » sont données dans le tableau [TAB-5.4.8.1](#).

Les deux lignes de décharge sont connectées à un piquage unique sur le haut du pressuriseur (voir la figure 5.1 FIG 1), situé au même niveau que les piquages des soupapes de sûreté. Elles comportent deux vannes motorisées en série. La décharge est effectuée dans le RDP en aval des « SAV », via la ligne de décharge commune aux soupapes de sûreté. L'installation générale est illustrée sur la [FIG-5.4.8.1](#).

 Les deux vannes sont conçues pour pouvoir se refermer sous la pression différentielle maximale possible en cas d'ouverture intempestive. Une fois ouvertes, ces vannes motorisées restent en position ouverte même en cas de perte de leurs alimentations électriques.

4. RÔLE DE SÛRETÉ

Les fonctions de sûreté des lignes de décharge dédiées au « gavé-ouvert » et aux accidents graves sont :

- Ligne dédiée au « gavé-ouvert » : garantir le respect des critères de sûreté liés à l'accident de brèche isolable sur le système RIS-RA en mode RA à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte en cas de défaillance sur au moins une soupape pressuriseur (voir section 15.2.4q), et liés aux études RRC-A pour les situations de perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur (voir section 19.1.3Fsd).
- Ligne dédiée aux accidents graves : garantir la dépressurisation du circuit primaire en dessous de 20 bar, de manière à éliminer le risque de fusion du cœur en pression (voir section 19.2.2.2).

5. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

L'ordre d'ouverture des lignes de décharge est manuel. Les vannes ne reçoivent aucun ordre automatique de manœuvre de contrôle-commande.

□ Elles sont conçues pour être ouvertes dans les conditions requises en accident graves et en gavage-ouvert, à une température et une pression pouvant atteindre 600° C, 185 bars abs et pour dépressuriser le RCP jusqu'à une pression inférieure à 20 bar.

Une fois ouvertes, leur maintien en position pour la suite de l'accident est garanti par l'irréversibilité de leur chaîne cinématique. En position ouverte, la température du fluide peut atteindre 1000°C.

□ L'alimentation de puissance est secourue par les diesels principaux, les diesels d'ultime secours et par les batteries Accidents Graves.

6. QUALIFICATION

Les robinets sont qualifiés au séisme par analyse. Les ServoMoteur Electrique (SME) sont qualifiés à l'ambiance d'accident grave par essai et les robinets complets sont qualifiés à l'ambiance d'accident grave par méthode mixte (analyse et essai).

7. MATÉRIAUX

Les matériaux des principaux constituants des « SAV » sont indiqués dans le tableau [TAB-5.4.8.2](#). Les compositions chimiques de ces matériaux sont conformes au RCC-MR.

TAB-5.4.8.1 CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DES
« SAV »

□

**TAB-5.4.8.2 « SAV » - MATÉRIAUX DES PRINCIPAUX
COMPOSANTS**

□

**FIG-5.4.8.1 DISPOSITION GÉNÉRALE DES VANNES DÉDIÉES
RRC-A ET ACCIDENT GRAVE**

SOMMAIRE

.5.4.9	SUPPORTS DES COMPOSANTS PRIMAIRES	4
1.	BASES DE CONCEPTION	4
1.1.	INTRODUCTION	4
1.2.	CONDITIONS D'ÉTUDES DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE	4
1.2.1.	CHARGEMENTS STATIQUES	4
1.2.2.	CHARGEMENTS DYNAMIQUES	4
1.2.3.	COMBINAISONS DES CHARGEMENTS – EFFORTS DE DIMENSIONNEMENT	5
1.3.	MÉTHODES D'ANALYSE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE	5
2.	ANNEAU SUPPORT DE CUVE	5
2.1.	DESCRIPTION	5
2.2.	PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION	6
2.3.	MATÉRIAUX	6
2.4.	PROGRAMME DE FABRICATION	6
2.5.	MONTAGE SUR LE SITE	6
2.6.	MAINTENANCE	6
3.	SUPPORTS DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	6
3.1.	DESCRIPTION	6
3.1.1.	SUPPORTS VERTICAUX	6
3.1.2.	SUPPORTS HORIZONTAUX INFÉRIEURS	7
3.1.3.	SUPPORTS HORIZONTAUX SUPÉRIEURS	7
3.2.	PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION	7
3.3.	MATÉRIAUX	7
3.3.1.	SUPPORTS VERTICAUX	7
3.3.2.	SUPPORTS HORIZONTAUX INFÉRIEURS	7
3.3.3.	SUPPORTS HORIZONTAUX SUPÉRIEURS	8
3.4.	PROGRAMME DE FABRICATION	8
3.5.	MONTAGE SUR LE SITE	8
3.6.	MAINTENANCE	8
4.	SUPPORTS DES POMPES PRIMAIRES	8
4.1.	DESCRIPTION	8

4.1.1. SUPPORTS VERTICAUX	8
4.1.2. SUPPORTS HORIZONTAUX	8
4.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION	9
4.3. MATÉRIAUX	9
4.3.1. SUPPORTS VERTICAUX	9
4.3.2. SUPPORTS HORIZONTAUX	9
4.4. PROGRAMME DE FABRICATION	9
4.5. MONTAGE SUR LE SITE	9
4.6. MAINTENANCE	9
5. SUPPORTS DU PRESSURISEUR	9
5.1. DESCRIPTION	9
5.1.1. SUPPORTS VERTICAUX	9
5.1.2. SUPPORTS HORIZONTAUX SUPÉRIEURS	9
5.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION	10
5.3. MATÉRIAUX	10
5.3.1. SUPPORTS VERTICAUX	10
5.3.2. SUPPORTS HORIZONTAUX SUPÉRIEURS	10
5.4. PROGRAMME DE FABRICATION	10
5.5. MONTAGE SUR LE SITE	10
5.6. MAINTENANCE	10
6. SUPPORTS DE LA LIGNE D'EXPANSION	10
6.1. DESCRIPTION	10
6.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION	10
6.3. MONTAGE SUR LE SITE	10
6.4. MAINTENANCE	10
7. COLLIERS DE MAINTIEN (CDM)	11
7.1. DESCRIPTION	11
7.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION	11
7.3. MATÉRIAUX	11
7.4. PROGRAMME DE FABRICATION	11
7.5. MONTAGE SUR SITE	11
7.6. MAINTENANCE	11

TABLEAUX :

TAB-5.4.9.1	MATÉRIAUX DE L'ANNEAU SUPPORT DE CUVE.....	12
TAB-5.4.9.2	MATÉRIAUX DES SUPPORTS VERTICAUX DES GV	13
TAB-5.4.9.3	MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTAUX INFÉRIEURS DES GV.....	14
TAB-5.4.9.4	MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTAUX SUPÉRIEURS DES GV.....	15
TAB-5.4.9.5	MATÉRIAUX DES SUPPORTS VERTICAUX DES POMPES PRIMAIRES	16
TAB-5.4.9.6	MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTAUX DES POMPES PRIMAIRES	17
TAB-5.4.9.7	MATÉRIAUX DES SUPPORTS VERTICAUX DU PRESSURISEUR.....	18
TAB-5.4.9.8	MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTAUX SUPÉRIEURS DU PRESSURISEUR.....	19
TAB-5.4.9.9	MATÉRIAUX DES COLLIERS DE MAINTIEN (BRANCHE EN U ET BRANCHE FROIDE)	20

FIGURES :

FIG-5.4.9.1	RÉACTEUR EPR - ANNEAU SUPPORT DE CUVE.....	21
FIG-5.4.9.2	RÉACTEUR EPR – GÉNÉRATEUR DE VAPEUR (GV).....	22
FIG-5.4.9.3	RÉACTEUR EPR – SUPPORTS DE POMPE PRIMAIRE (PP)	23
FIG-5.4.9.4	RÉACTEUR EPR – SUPPORTS DE PRESSURISEUR.....	24
FIG-5.4.9.5	RÉACTEUR EPR – SUPPORTS DE LA LIGNE D'EXPANSION	25
FIG-5.4.9.6	RÉACTEUR EPR – COLLIER DE MAINTIEN EN BRANCHE EN U.....	26
FIG-5.4.9.7	RÉACTEUR EPR – COLLIER DE MAINTIEN EN BRANCHE FROIDE	27

.5.4.9 SUPPORTS DES COMPOSANTS PRIMAIRES

1. BASES DE CONCEPTION

1.1. INTRODUCTION

Les structures des supports des composants primaires sont des profilés d'acier de charpente soudés.

Des structures de type plaque et virole sont utilisées pour le support de la cuve, pour le support inférieur du pressuriseur et pour les colliers de maintien. Tous les autres supports sont de type linéaire (bielles, béquilles, amortisseurs).

Les attaches des équipements supportés sont des attaches non-intégrales sauf pour le support supérieur des générateurs de vapeur et le support inférieur du pressuriseur. Elles sont boulonnées sur les composants ou s'appuient dessus. Les supports sont fixés sur les structures en béton par des boulons d'ancrage ou des tirants encastrés.

Du fait des tolérances de fabrication et de construction, des latitudes de réglage importantes doivent être prévues pour les structures de support afin de permettre un montage, alignement et aménagement corrects. Cela est obtenu par injection de béton deuxième phase à l'interface support-béton et par calage à l'interface supports-équipements.

1.2. CONDITIONS D'ÉTUDES DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE

Les supports primaires doivent permettre de garantir la stabilité du circuit primaire principal, en conditions normales, perturbées ou accidentelles. Ils sont donc conçus pour être soumis à des efforts statiques, dynamiques mais également à différentes combinaisons de ces efforts.

1.2.1. Chargements statiques

Les chargements statiques appliqués aux supports sont les suivants :

- le poids des équipements : F_{Poids} ;
- les chargements générés par les expansions thermiques du CPP : F_{Therm} ;
- les chargements générés par la montée en pression du CPP : F_{Pression} ;
- le chargement « 2pA » : F_{2pA} . Les supports doivent assurer le maintien des composants quand un effort statique égal à 2pA est appliqué indépendamment à chacune des tubulures de l'équipement (2 : facteur de charge dynamique ; p : pression de fonctionnement ; A : surface de la rupture) Ces chargements sont considérés au titre de la défense en profondeur, en dépit du concept d'Exclusion de Rupture de la tuyauterie.

1.2.2. Chargements dynamiques

Les chargements dynamiques susceptibles d'être appliqués aux supports primaires lors de la vie de la centrale sont les suivants :

- les chargements générés par le Séisme De Dimensionnement (SDD) : F_{SDD} ;
- les chargements générés par le Séisme Raisonnablement Prévisible (SRP) : F_{SRP} ;
- les chargements générés par la chute d'avion : F_{Chute} ;
- les chargements générés par des ruptures sur les tuyauteries connectées aux tuyauteries primaires et la tuyauterie vapeur principale : F_{Rupt} .

1.2.3. Combinaisons des chargements – Efforts de dimensionnement

Lors de la conception et du dimensionnement des supports primaires, l'ensemble des chargements statiques et dynamiques appliqués aux supports doit être pris en compte. Il est nécessaire de combiner et de cumuler ces efforts qui peuvent intervenir simultanément. C'est la combinaison la plus pénalisante, c'est-à-dire celle qui conduit à l'effort maximal qui sera utilisée pour calculer les contraintes dans le support. Cet effort maximal constitue donc l'effort de dimensionnement.

Les limites de contraintes admissibles étant différentes selon que l'on se place en conditions normales ou perturbées ou bien en conditions accidentelles, il est indispensable de vérifier les critères dans les deux cas.

Conditions normales et perturbées: $F_{\text{Poids}} + F_{\text{Therm}} + F_{\text{Pression}} + F_{\text{SRP}}$;

Conditions accidentelles :

$$\max \begin{cases} F_{\text{Poids}} + F_{\text{Therm}} + F_{\text{Pression}} + \sqrt{F_{\text{SDD}}^2 + F_{\text{Rupt}}^2} \\ F_{\text{Poids}} + F_{\text{Therm}} + F_{\text{Pression}} + F_{\text{Chute}} \\ F_{\text{Poids}} + F_{\text{Therm}} + F_{2pA} \end{cases}$$

Nota : pour un support donné, F_{Rupt} correspond à l'effort maximal relevé sur le support parmi tous les cas de rupture considérés.

1.3. MÉTHODES D'ANALYSE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE

La conception des supports se conforme aux prescriptions du code RCC-M, section I, sous-section H \square . La conception doit également respecter les exigences "Fabrication et examens associés" du chapitre H \square .

2. ANNEAU SUPPORT DE CUVE

2.1. DESCRIPTION

L'anneau support de cuve est présenté sur la figure [FIG-5.4.9.1](#).

La cuve repose sur un anneau de maintien, par l'intermédiaire de patins intégrés aux tubulures de cuve. Le dispositif autorise les dilatations radiales de la cuve dues aux expansions thermiques du circuit primaire tout en permettant à la cuve de conserver sa position spécifique (centrage, verticalité).

L'anneau est une structure mécano-soudée composée d'une semelle inférieure reposant sur le bord du puits de cuve, d'une virole cylindrique renforcée par des goussets, et d'une plaque supérieure constituée des blocs-supports. Les différentes parties sont soudées entre elles.

Chaque bloc-support comporte un logement usiné parallèle aux axes des tubulures de cuve permettant une libre dilatation radiale de la cuve due aux effets de la température et de la pression.

L'anneau est maintenu en place vis-à-vis des charges horizontales (séisme de dimensionnement, perte de réfrigérant primaire) à l'aide de huit clés verticales intégrées dans la semelle inférieure, et faisant saillie sous ladite semelle, et s'insérant chacune dans une encoche du béton.

Dans la semelle d'appui de l'anneau, à l'endroit des clés verticales, des ouvertures sont prévues pour permettre le passage des tubes-guide de la chambre de mesure de l'instrumentation externe du cœur.

La hauteur des blocs-supports dépend de la hauteur des patins des tubulures de cuve qui diffère selon qu'ils sont implantés sur la branche chaude ou sur la branche froide. La différence de hauteur des

patins permet d'obtenir la même dilatation thermique sur les patins de branche froide et de branche chaude qui ont des températures de fonctionnement distinctes.

En cas d'accident grave, la reprise des efforts verticaux agissant sur la cuve est assurée par la rigidité globale des boucles primaires. Ainsi, aucun dispositif spécifique pour maintenir l'anneau dans la direction verticale n'est nécessaire.

L'anneau est refroidi par le système de ventilation du puits de cuve.

2.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION

□

2.3. MATÉRIAUX

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant l'anneau support de cuve est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.1](#).

2.4. PROGRAMME DE FABRICATION

L'anneau support de cuve est une structure mécano-soudée.

Les conditions de préparation et d'exécution des joints soudés, l'agrément des procédés, la qualification des soudeurs satisfont aux exigences de la sous-section H 4000 du RCC-M.

Un traitement de détensionnement final est réalisé conformément au □ RCC-M.

Les soudures principales subissent un contrôle par ultrasons conformément aux exigences □ du RCC-M. Les critères d'acceptation sont ceux □ du RCC-M. Toutes les soudures font l'objet d'un examen visuel.

2.5. MONTAGE SUR LE SITE

Des dispositions spécifiques : vis-vérins, etc., sont prévues pour faciliter le réglage du plan de pose de la cuve. Le réglage final étant effectué par cales, aucune difficulté particulière n'existe pour la mise en place de ce composant.

2.6. MAINTENANCE

L'anneau support de cuve ne fait l'objet d'aucune maintenance spécifique.

3. SUPPORTS DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

3.1. DESCRIPTION

Les supports du générateur de vapeur sont présentés sur la figure [FIG-5.4.9.2](#).

3.1.1. Supports verticaux

Le générateur de vapeur est soutenu verticalement par quatre béquilles identiques équipées d'articulations à rotule (une à chaque extrémité) et implantées radialement à 90° les unes des autres.

Les parties supérieures des béquilles, appelées lanternes, sont fixées par des vis aux patins intégrés au fond du générateur de vapeur.

Les parties inférieures se composent d'une semelle circulaire et d'une chape mâle. Elles prennent appui sur des platines scellées au plancher, et sont fixées au plancher par quatre tirants. Après

montage final, les tirants sont mis en pré-tension à l'aide de vérins hydrauliques à une valeur suffisante pour éviter le décollement des béquilles lors d'un accident.

La partie intermédiaire, entre les deux articulations à rotule, se compose d'un tube soudé à ses extrémités sur des chapes femelles.

Du fait de l'expansion thermique de la boucle, les béquilles sont positionnées à froid avec une légère inclinaison vers la cuve, de sorte qu'à chaud, après expansion thermique du CPP, elles retrouvent une position verticale.

Deux dispositifs permettent de régler la hauteur du générateur de vapeur sur site :

- au niveau de la base, le réglage se fait en ajustant l'épaisseur de béton de scellement (béton seconde phase) de la platine dans le plancher ;
- le réglage fin se fait à l'aide de cales insérées entre les lanternes et les patins sur le fond du générateur de vapeur.

3.1.2. Supports horizontaux inférieurs

Les supports horizontaux inférieurs du GV permettent d'en contrôler et d'en limiter les mouvements dans le plan horizontal en cas d'accident, ainsi qu'en cas d'application d'un effort 2pA (2 fois la pression par la section). Les supports sont au nombre de 3 (une butée frontale et deux butées latérales). Les butées latérales et la butée frontale utilisent le même châssis, seul le nombre de touches qui y sont fixées diffère.

3.1.3. Supports horizontaux supérieurs

Les supports horizontaux supérieurs guident et limitent de la même manière que les supports inférieurs les mouvements horizontaux du générateur de vapeur, au niveau de son centre de gravité. Ces supports sont constitués de :

- Deux dispositifs auto-bloquants, placés dans la direction de la branche chaude. Ils limitent les déplacements brusques provoqués par un séisme ou une rupture de tuyauterie et permettent aussi les déplacements lents provoqués par la dilatation thermique de la boucle ;
- Deux bielles, placées dans la direction perpendiculaire aux dispositifs auto-bloquants. Elles guident les mouvements lents du générateur de vapeur radiaux à la cuve et limitent les mouvements perpendiculaires à la branche chaude en situation accidentelle.

Les bielles et les amortisseurs sont ancrés dans les murs des casemates. Les bielles et les amortisseurs possèdent des chapes à rotule pour éviter la création de moments.

3.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION

□

3.3. MATÉRIAUX

3.3.1. Supports verticaux

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant les supports verticaux du générateur de vapeur est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.2](#).

3.3.2. Supports horizontaux inférieurs

Les caractéristiques des matériaux des principaux constituants des supports latéraux inférieurs du générateur de vapeur, au niveau du système vis-vérin, sont résumées dans le tableau [TAB-5.4.9.3](#).

3.3.3. Supports horizontaux supérieurs

Les caractéristiques des matériaux constituant des supports horizontaux supérieurs du générateur de vapeur sont résumées dans le tableau [TAB-5.4.9.4](#).

3.4. PROGRAMME DE FABRICATION

- Béquilles
L'assemblage du tube et des chapes femelles est réalisé par soudage. Les conditions de préparation et d'exécution du joint, l'agrément du procédé, la qualification des soudeurs satisfont les exigences [\[\]](#) du RCC-M. Cette soudure subit un contrôle par ressuage et un contrôle par radiographie suivant la sous-section H [\[\]](#) du RCC-M. Il est effectué un traitement thermique de détensionnement
- Supports horizontaux
Les supports horizontaux sont composés de pièces usinées assemblées sans soudure.

3.5. MONTAGE SUR LE SITE

Divers réglages sont prévus afin d'assurer une position correcte du générateur de vapeur pour le raccordement des tuyauteries primaires. En particulier, des cales situées entre les patins intégrés au fond du GV et le haut des béquilles sont usinées, afin d'obtenir un plan de pose parfaitement horizontal du générateur de vapeur au niveau requis. Ou encore, le réglage définitif des bielles pour le support horizontal supérieur du GV, réalisé lors d'un palier d'arrêt à chaud au cours des essais de démarrage, afin de contrôler les déplacements du GV au moment du passage d'une situation de fonctionnement à une autre (passage d'un état du circuit à froid vers un état du circuit à chaud ou inversement), en s'affranchissant des contraintes dues à sa déformation.

3.6. MAINTENANCE

La seule maintenance à assurer est celle des dispositifs auto-bloquants. Ils doivent subir les vérifications et les entretiens périodiques prévus dans le manuel d'entretien et d'exploitation, principalement le remplacement du fluide hydraulique et le changement des joints.

4. SUPPORTS DES POMPES PRIMAIRES

4.1. DESCRIPTION

Les supports des pompes primaires sont présentés sur la figure [FIG-5.4.9.3](#).

4.1.1. Supports verticaux

Chaque pompe primaire est soutenue verticalement à l'aide de trois béquilles de même conception que celles du générateur de vapeur sauf en ce qui concerne la partie supérieure qui est cylindrique et liée à la patte de volute au moyen d'un goujon et leur longueur.

Les trois pattes de volute sont orientées comme suit :

- l'une dans l'axe de la branche froide ;
- les 2 autres à 45° de part et d'autre de la branche froide.

Les béquilles de pompes primaires ne transmettent au génie civil que les efforts verticaux.

4.1.2. Supports horizontaux

La fonction des supports horizontaux est de limiter les mouvements de la pompe dans le plan horizontal en cas d'accident. Ces supports implantés à deux niveaux se composent de :

- deux DABs situés au niveau du support moteur, pour reprendre les efforts sismiques, Ces bloqueurs sont identiques dans leur conception à ceux utilisés pour maintenir le générateur de vapeur ;
- une butée frontale dans l'axe de la branche froide afin de reprendre un effort statique égal à 2pA.

4.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION

□

4.3. MATÉRIAUX

4.3.1. Supports verticaux

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant les supports verticaux des pompes primaires est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.5](#).

4.3.2. Supports horizontaux

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant les supports horizontaux des pompes primaires est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.6](#).

4.4. PROGRAMME DE FABRICATION

Il est identique à celui des supports de générateurs de vapeur.

4.5. MONTAGE SUR LE SITE

Divers réglages sont prévus afin d'assurer une position correcte de la pompe primaire avant le raccordement des tuyauteries primaires. En particulier, des cales situées entre le plan des pattes de volute et le haut des béquilles sont usinées afin d'obtenir un plan de pose de la pompe parfaitement horizontal au niveau requis.

4.6. MAINTENANCE

La maintenance à assurer concerne les DAB. Les instructions sont identiques à celles indiquées pour les DAB de générateurs de vapeur.

5. SUPPORTS DU PRESSURISEUR

5.1. DESCRIPTION

Les supports du pressuriseur sont présentés sur la figure [FIG-5.4.9.4](#).

5.1.1. Supports verticaux

Le dispositif autorise les dilatations radiales de la cuve dues aux expansions thermiques du circuit primaire.

Le pressuriseur comprend en partie inférieure plusieurs consoles équidistantes, au nombre de trois, soudées sur sa coque, qui reposent sur autant de blocs supports ou sabots ancrés au génie civil au moyen de tirants prétendus. Le glissement possible entre les consoles et les blocs supports autorise la dilatation radiale du pressuriseur tout en lui permettant de conserver sa position spécifique (centrage, verticalité).

5.1.2. Supports horizontaux supérieurs

Les supports horizontaux supérieurs se composent de huit butées, type vis-vérins, réparties sur la périphérie du pressuriseur.

Les vis-vérins permettent le réglage du jeu entre les butées et la coque du pressuriseur. Ce jeu permet la libre dilatation du pressuriseur.

5.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION

□

5.3. MATÉRIAUX

5.3.1. Supports verticaux

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant les supports verticaux du pressuriseur est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.7](#).

5.3.2. Supports horizontaux supérieurs

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant les supports horizontaux supérieurs du pressuriseur est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.8](#).

5.4. PROGRAMME DE FABRICATION

Le programme de fabrication est identique aux supports horizontaux des générateurs de vapeur.

5.5. MONTAGE SUR LE SITE

Divers réglages sont prévus afin d'assurer une position correcte du pressuriseur pour le raccordement à la ligne d'expansion. En particulier, des cales usinées permettent d'obtenir un plan de pose parfaitement horizontal du pressuriseur au niveau requis et de ne pas le brider sur son support.

Le montage des butées latérales s'effectue après la mise en place du pressuriseur.

5.6. MAINTENANCE

Les supports de pressuriseur ne font l'objet d'aucune maintenance spécifique.

6. SUPPORTS DE LA LIGNE D'EXPANSION

6.1. DESCRIPTION

Les supports de la ligne d'expansion sont présentés sur la figure [FIG-5.4.9.5](#).

La ligne d'expansion du pressuriseur est supportée par 2 supports poids implantés au dessus de la ligne, les boîtes à ressort travaillant en traction et reprenant le poids de la ligne (tuyauterie, fluide contenu et calorifugeage) au cours du fonctionnement normal.

6.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION

□

6.3. MONTAGE SUR LE SITE

La longueur des tiges reliant le support poids à la chape supérieure, fixée à la potence, peut être ajustée en fonction de la position de la ligne d'expansion, ce qui permet de s'affranchir des tolérances de fabrication et de ne pas brider la ligne d'expansion.

6.4. MAINTENANCE

Aucune maintenance n'est prévue dans les conditions de service normales.

7. COLLIERS DE MAINTIEN (CDM)

7.1. DESCRIPTION

Les colliers de maintien ou CDM sont présentés sur les figures [FIG-5.4.9.6](#) et [FIG-5.4.9.7](#).

Trois CDM sont mis en place sur le circuit primaire principal :

- Un au niveau du piquage RCV décharge de la branche en U n°1 ;
- Un au niveau du piquage d'aspersion du pressuriseur de la branche froide n°2 ;
- Un au niveau du piquage d'aspersion du pressuriseur de la branche froide n°3.

Les deux CDM en branches froides ont la même géométrie (cf. figure [FIG-5.4.9.7](#)), qui diffère très légèrement de celle du CDM en branche en U (cf. figure [FIG-5.4.9.6](#)).

Les CDM sont mis en place autour des tuyauteries primaires, sans connexion avec le génie civil. Leur poids propre est supporté en totalité par la tuyauterie primaire. Ils sont chacun constitués de 2 demi-colliers (eux-mêmes constitués d'éléments mécanosoudés), de plaques d'appui et d'éléments de boulonnerie □, permettant le montage et le démontage autour de la tuyauterie et du piquage existant.

Leur fonction est de limiter l'aire de brèche occasionnée en reprenant les efforts induits par une potentielle rupture de la soudure d'implantation du piquage dite set-in (piquage RCV décharge en branche en U ou aspersion du pressuriseur en branche froide). Les rondelles ressorts équipant les tiges de serrage permettent de limiter l'augmentation des efforts de traction induite par l'expansion thermique de la tuyauterie. Celles équipant les tirants ont pour but de limiter les efforts en toute situation à l'exception du cas de potentielle rupture de la soudure d'implantation du piquage dite set-in.

7.2. PRINCIPALES SOCIÉTÉS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉALISATION

□

7.3. MATÉRIAUX

L'ensemble des caractéristiques des matériaux constituant les CDM est résumé dans le tableau [TAB-5.4.9.9](#).

7.4. PROGRAMME DE FABRICATION

Les CDM sont constitués principalement de structures mécanosoudées (demi-colliers).

Les conditions de préparation et d'exécution des joints soudés, l'agrément des procédés, la qualification des soudeurs satisfont aux exigences de la sous-section □ du RCC-M.

Un traitement de détensionnement final est réalisé conformément au □ RCC-M.

Les soudures sont soumises à un contrôle visuel, surfacique et volumique conformément aux exigences de la sous-section H □ du RCC-M.

7.5. MONTAGE SUR SITE

Les trois CDM sont montés serrés à froid autour de la branche en U n°1 et des branches froides n°2 et n°3. Le serrage est assuré par les tiges M39.

7.6. MAINTENANCE

Les CDM sont des équipements démontables qui permettent la réalisation d'opérations de maintenance.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.9

PAGE 12/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.9.1 MATÉRIAUX DE L'ANNEAU SUPPORT DE
CUVE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.9

PAGE 13/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.9.2 MATÉRIAUX DES SUPPORTS VERTICAUX DES
GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.9

PAGE 14/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.9.3 MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTAUX
INFÉRIEURS DES GV**

□

Nota : □

**TAB-5.4.9.4 MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTALS
SUPÉRIEURS DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.9

PAGE 16/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.9.5 MATÉRIAUX DES SUPPORTS VERTICAUX DES
POMPES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.9

PAGE 17/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-5.4.9.6 MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTALS
DES POMPES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 5

SECTION 4.9

PAGE 18/27

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-5.4.9.7 MATÉRIAUX DES SUPPORTS VERTICAUX DU PRESSURISEUR

□

**TAB-5.4.9.8 MATÉRIAUX DES SUPPORTS HORIZONTALS
SUPÉRIEURS DU PRESSURISEUR**

□

**TAB-5.4.9.9 MATÉRIAUX DES COLLIERS DE MAINTIEN
(BRANCHE EN U ET BRANCHE FROIDE)**

□

FIG-5.4.9.1 RÉACTEUR EPR - ANNEAU SUPPORT DE CUVE

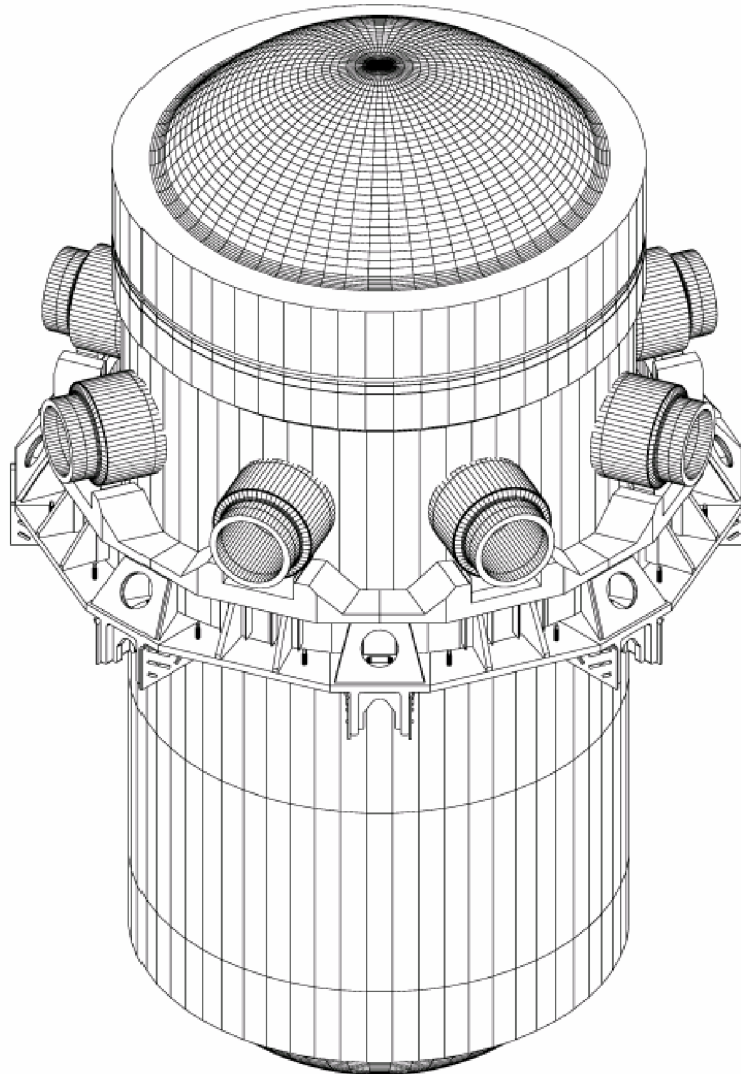
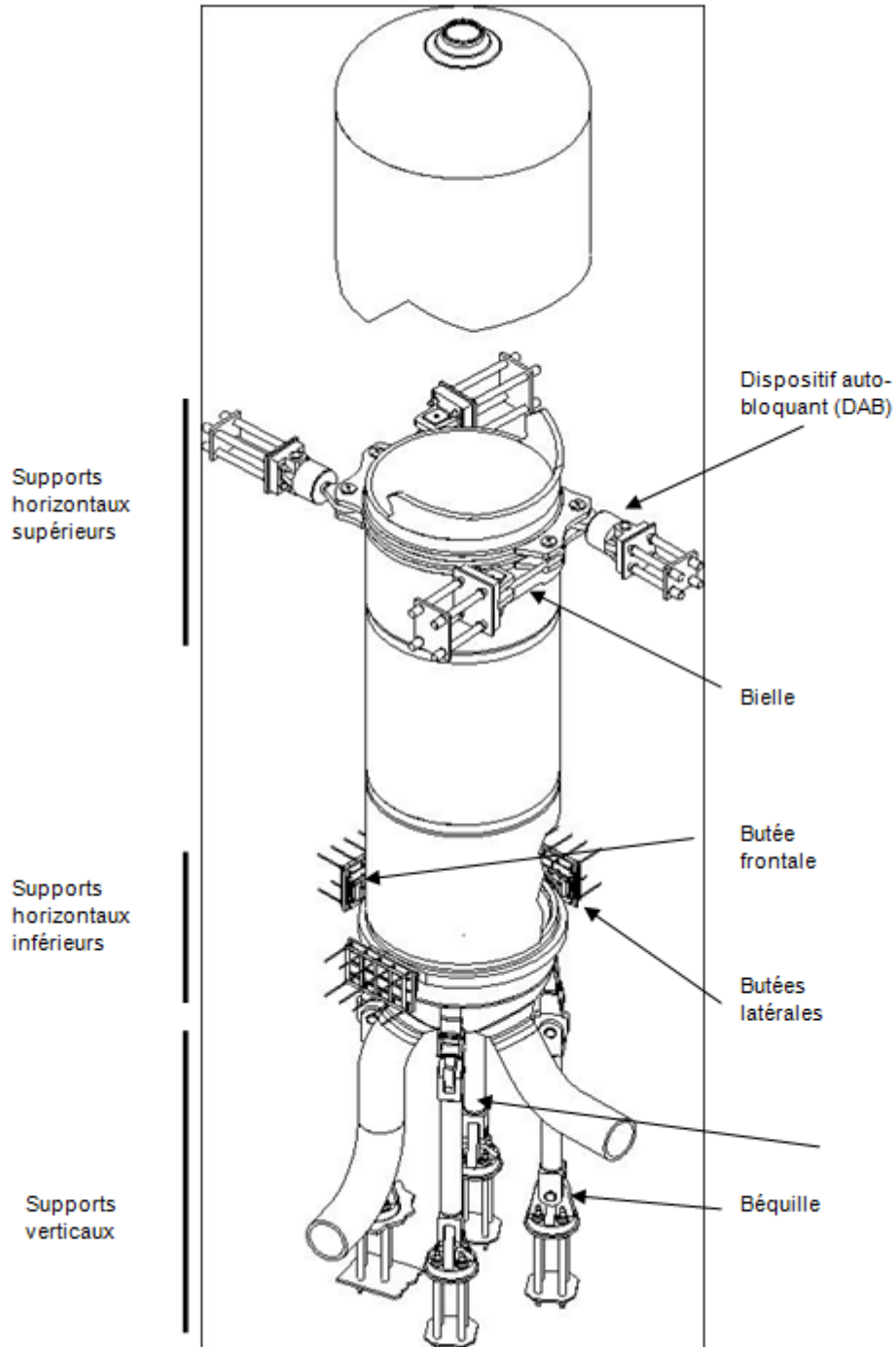


FIG-5.4.9.2 RÉACTEUR EPR – GÉNÉRATEUR DE VAPEUR (GV)



**FIG-5.4.9.3 RÉACTEUR EPR – SUPPORTS DE POMPE PRIMAIRE
(PP)**

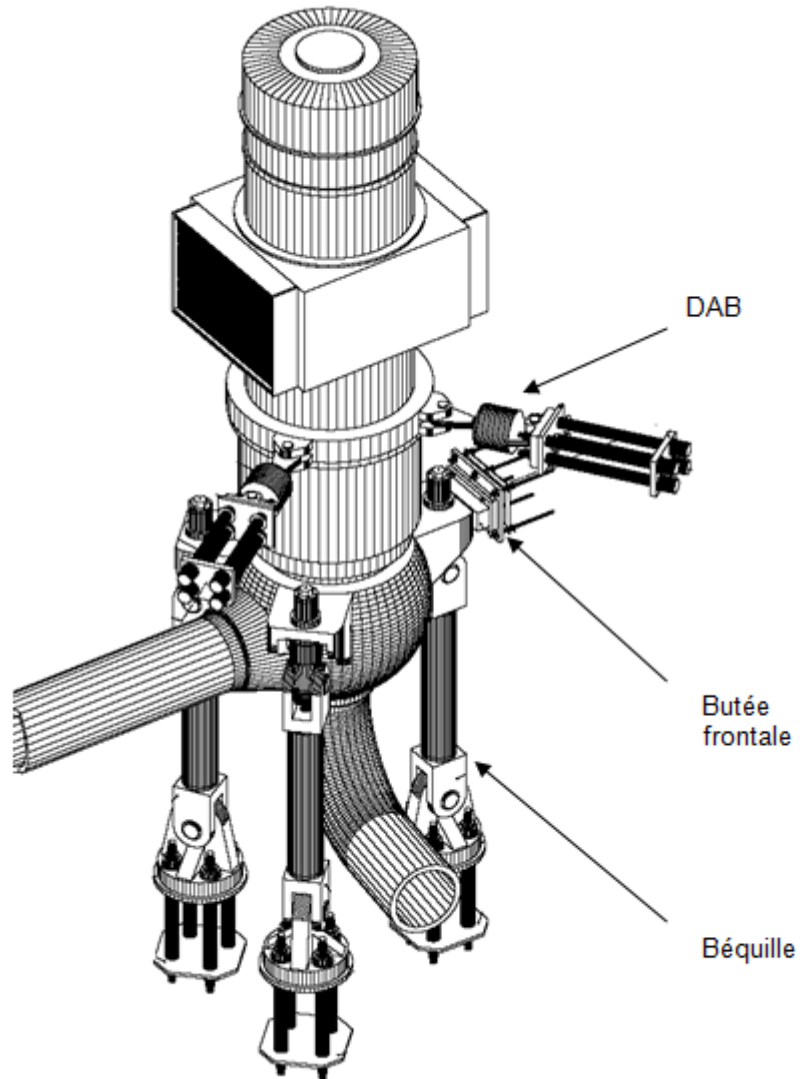
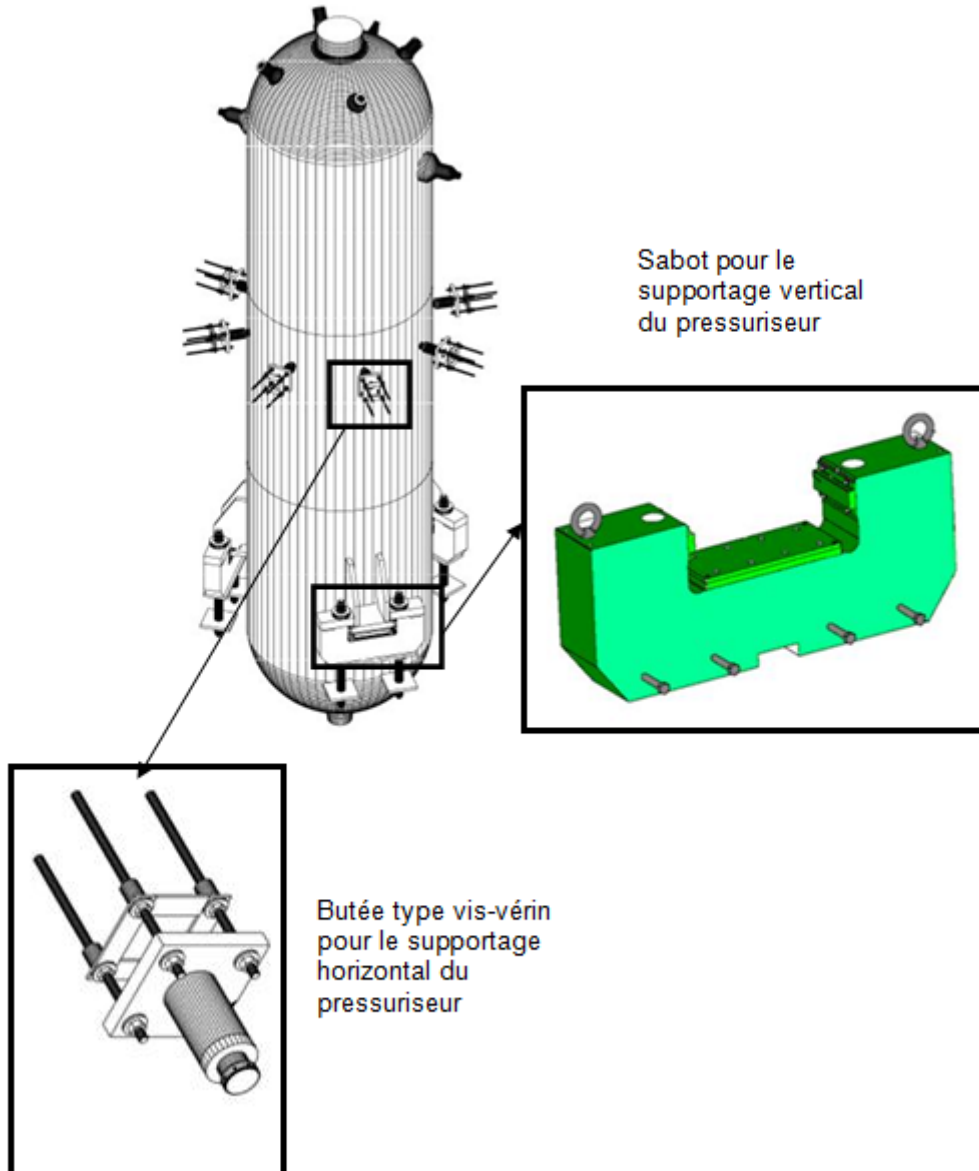


FIG-5.4.9.4 RÉACTEUR EPR – SUPPORTS DE PRESSURISEUR



**FIG-5.4.9.5 RÉACTEUR EPR – SUPPORTS DE LA LIGNE
D'EXPANSION**

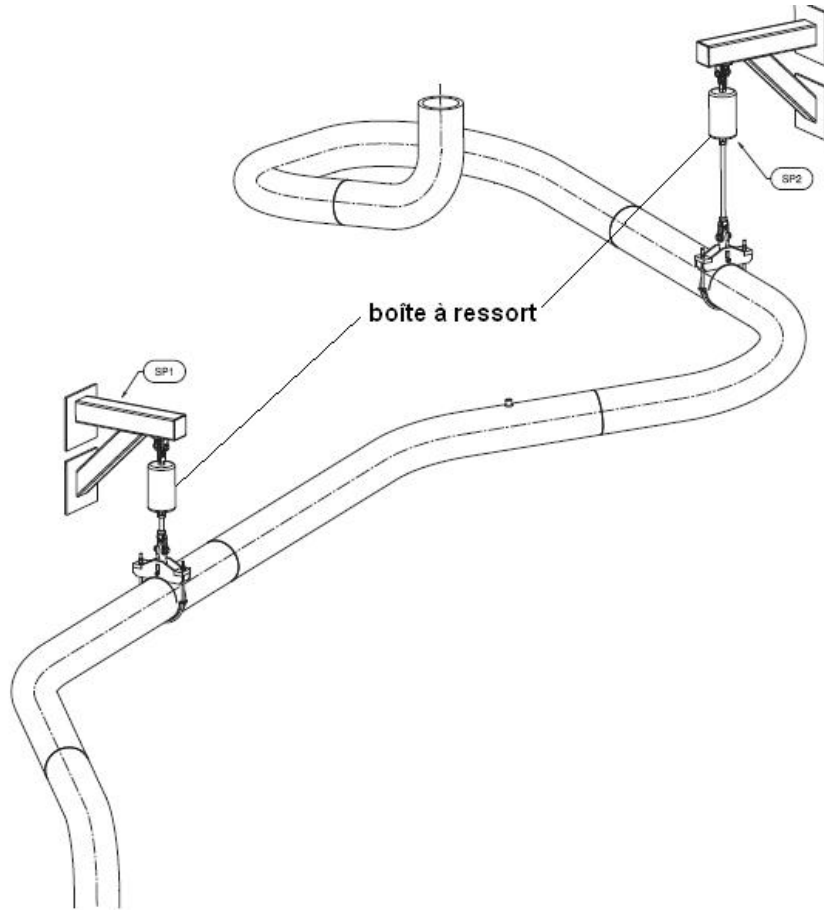


FIG-5.4.9.6 RÉACTEUR EPR – COLLIER DE MAINTIEN EN BRANCHE EN U

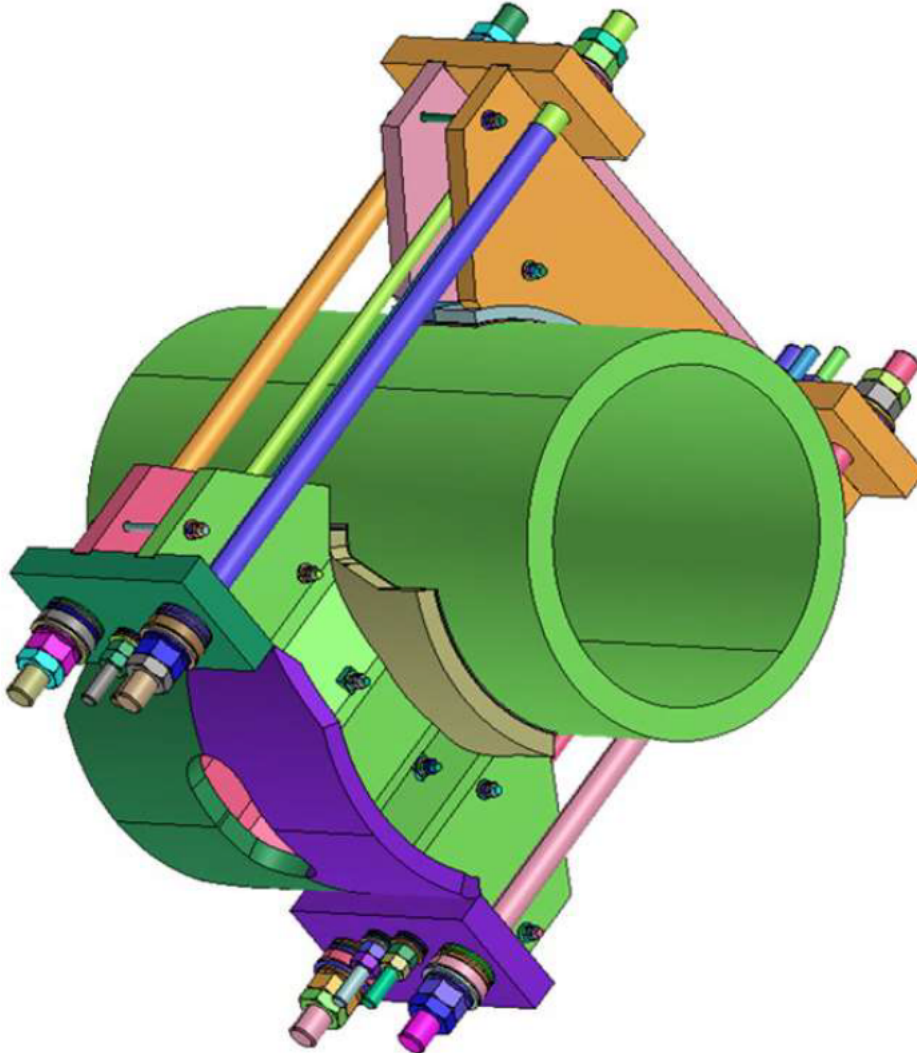


FIG-5.4.9.7 RÉACTEUR EPR – COLLIER DE MAINTIEN EN BRANCHE FROIDE

