DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE

SERVICE ÉTUDES ET PROJETS
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Diffusé le : Voir code barres ci-dessus

Réf. : ENRECP080196A

Entité émettrice: **SEPTEN/RE/CP**

Rédacteur : **ODIER F.**

Nbre de pages : 18

Domaine d'application : **EPR**

Nbre d'annexes :

Titre : **Synthèse des choix de conception des mécanismes de commande de grappes de l'EPR**

ENRECP080196	**A**	← Référence Code Projet →	E230/028431/IIP-TRCM-N

Type de document : **Note d'étude**

Mots clés : EPR – Mécanismes de commande de grappes - Conception

Résumé : L'objet de cette note est de synthétiser les choix de conception des MCG EPR et d'expliciter succinctement les raisons qui ont motivé ces choix.

Rédacteur		Vérificateur		Approbateur			
				Chef d'entité		Chef de rang supérieur	
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa
ODIER F. **08/12/2008**		**NOE H.** **08/12/2008**		**JAYET-GENDROT S.** **09/12/2008**			

Evolutions des trois derniers indices

Cocher s'il y a changement de méthodologie

Cocher ici s'il y a évolution des données amont

Indice	Date d'approbation	Motif du changement d'indice	Modifications apportées		
A		Première version			

Archivage long : NON Archivé au FDU : OUI

Livrable principal : OUI

Copyright EDF 2008

- ☐ Confidentiel : L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur.
- ☐ Dif. Restreinte : L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Le chef de service d'un destinataire peut étendre la diffusion sous sa responsabilité et dans sa Direction (sur la base d'une liste explicite).
- ☒ Accès E.D.F : Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un chef de service.
- ☐ Accès libre : Document public.

SEPTEN

12-14, AVENUE DUTRIÉVOZ - 69628 VILLEURBANNE CEDEX - FRANCE - TÉL. : 04 72 82 77 77 - FAX : 04 72 82 70 00

Synthèse des choix de conception des mécanismes de commande de grappes de l'EPR

FICHE DE GESTION

Important pour la sûreté (IPS) OUI ☐ NON ☒

Cette note modifie ou exprime une exigence de Sûreté, de Radioprotection ou d'Environnement ? :
OUI ☐ Appliquer le processus O4a
NON ☒

Document HPIC : OUI ☐ NON ☒

Vérification Indépendante	demandée	OUI	☐	Par EDF	☐	En ligne	☐	En cours ☐
		NON	☒	Hors EDF	☐	En différé	☐	Effectuée ☐

Responsable vérification (NOM, SERVICE / SOCIÉTÉ) :

Prédiffusion du présent indice : OUI ☒ NON ☐

Auprès de : L. BERHAULT (CNEN)
S. GOICHOT (CNEN)
P. LAUTIER (SEPTEN)
L. LUU (CEIDRE)

Existe-t-il un dossier d'étude associé à la note à cet indice ? : OUI ☒ NON ☐

Contrôle linguistique renforcé : OUI ☐ NON ☒

SYNTHÈSE

Le Parc nucléaire français va s'enrichir d'une nouvelle tranche : l'EPR de Flamanville 3. L'EPR est un réacteur de la filière REP (réacteur à eau pressurisée) d'une puissance de 1600 MWe. Il est issu des technologies allemande de type KONVOI et française de type N4.

Comparativement aux réacteurs des centrales à eau pressurisée du Parc EDF, la présence d'un récupérateur de corium ainsi que la volonté de limiter les risques de brèches en fond de cuve sur EPR conduit à une nouvelle architecture de cuve qui reporte sur le couvercle de cuve l'ensemble des pénétrations nécessaires à l'instrumentation du cœur.

La présence sur le couvercle de cuve EPR des traversées nécessaires à l'actionnement des grappes de contrôle et des traversées supplémentaires liées à l'instrumentation implique que la conception des Mécanismes de Commande de Grappe (MCG) soit compatible avec l'implantation sur le couvercle de ces nombreuses traversées.

Le choix a été fait pour les mécanismes de commandes EPR de retenir une conception proche de ceux équipant les centrales allemandes. Ce choix s'inscrit dans la démarche générale de retenir pour EPR des solutions techniquement déjà éprouvées.

Ainsi les MCG de type KONVOI se caractérisent par

- Un encombrement réduit,
- Un refroidissement par convection naturelle, donc une économie d'énergie,
- Un démontage plus aisé,
- Un REX satisfaisant.

Cependant, les MCG de type KONVOI n'étaient pas utilisables en l'état pour l'EPR de Flamanville 3 du fait des impositions de la réglementation française concernant le choix des matériaux notamment mais aussi la conception de l'enceinte sous pression (limitation du nombre de soudures, …). Cela a amené AREVA à étudier l'opportunité de plusieurs évolutions de conception, débattues notamment en Section Permanente Nucléaire le 26/04/05, puis lors de la revue technique EDF/AREVA du 21 juin 2006 :

- Suppression ou modification de soudures de l'enceinte sous pression,
- Mise en place d'un dispositif de détection de fuites au niveau de liaison boulonnée avec l'adaptateur du couvercle de cuve,
- Création d'un dispositif de limitation de déplacement en tête de l'enceinte sous pression des MCG (dispositif anti-sismique),
- Changements de matériaux.

Ces évolutions concernaient globalement la partie enceinte sous pression des MCG. Finalement, peu de ces évolutions potentielles ont été appliquées, **le Constructeur préférant bénéficier du REX allemand et d'une conception « éprouvée ».** En contre-partie, de solides dossiers de justifications ont été réalisés.

SOMMAIRE

1. Références 5

2. Introduction 6

3. Présentation des MCG 7

3.1 Généralités 7

3.2 Présentation détaillée des MCG EPR 8

3.2.1 L'enceinte sous pression 8

3.2.2 L'ensemble mécanique de levée 8

3.2.3 L'ensemble électromagnétique 8

3.2.4 L'ensemble tige de commande 9

3.3 Comparaison avec MCG parc 10

4. Choix des MCG de type KONVOI 11

5. Adaptation des MCG allemands à la législation française 11

5.1 Modification et contrôle des soudures 11

5.2 Etanchéité de la liaison boulonnée 12

5.3 Dispositif anti sismique 12

5.4 Utilisation de l'acier martensitique X3CrNiMo13-4 12

5.5 Utilisation de l'acier austénitique stabilisé au Niobium X6CrNiNb18-10 13

5.6 Utilisation de l'Inconel 82 13

6. Conclusion 14

1. Références

[1] Note AREVA EEX-M/DC/0363 rév. D (15/12/2003), *Equipment definition package Control Rod Drive Mechanisms*

[2] Courrier ASN DGSNR/SD5/PM/MFG n°050258 (24/06/2005), *Examen des choix de conception de mécanismes de commande de grappes du projet de réacteur nucléaire EPR*

[3] Note AREVA NTM-G/2006/en/1005 rév. C (17/10/2006), *Design Options of the FA3 CRDM Pressure Housings acc. to the requests of the DGSNR and EDF (Items A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1 and B2 of the work program)*

[4] Courrier CNEN ECEMA061311 (29/12/2006), *EPR – Réponse à la recommandation n°1 de la SPN MCG du 26 avril 2005*

[5] Plans AREVA NEER-G/2007/en/1517 rév. D (28/10/2008), *Equipment drawings for control rod drive mechanisms*

[6] Rapport BCCN PM/MFG n° 050163 (17/03/2005), *Examen des choix de conception de mécanismes de commande de grappes réacteur EPR*

[7] Courrier CNEN ECEMA061352 (22/12/2006), *EPR – Réponse à la recommandation n°3 de la SPN MCG du 26 avril 2005*

[8] Arrêté ESPN du 12/12/2005

[9] Courrier CNEN ECEMA060785 (06/07/2006), *EPR – Réponses aux recommandations 2 et 4 de la SPN MCG du 26 avril 2005*

[10] Courrier CNEN ECEMA060863 (18/08/2006), *EPR – Réponse à la recommandation n°5 de la SPN MCG du 26 avril 2005*

[11] Courrier ASN PM/MFG-DEP-SD5-0438-2006 n°050258 (18/10/2006), *Examen des choix de conception de mécanismes du projet de réacteur EPR*

[12] Courrier CNEN ECEMA070254 (11/04/2007), *EPR – Réponses aux recommandations 2 et 4 de la SPN MCG du 26 avril 2005*

[13] Note AREVA NEEM-F/DC/10 rév. C (30/05/2008), *Dossier matériau – Acier inoxydable martensitique pour CRDM*

[14] Note CNEN ECEMA060764 rév. A (27/06/2006), *Conclusions de la revue technique du 21 juin 2006 sur les MCG EPR*

2. Introduction

Le Parc nucléaire français va s'enrichir d'une nouvelle tranche : l'EPR de Flamanville 3. Ce réacteur sera le premier EPR mis en service en France, et le deuxième dans le monde, peu de temps après la mise en service de l'EPR finlandais d'Olkiluoto 3. L'EPR est un réacteur de la filière REP (réacteur à eau pressurisée) d'une puissance de 1600 MWe. Il est issu des technologies allemande de type KONVOI et française de type N4.

Dans ce contexte, lors de la conception des mécanismes de commande de grappe en particulier, on a du choisir entre les mécanismes de type KONVOI et les mécanismes de type N4 puis les adapter plus spécifiquement aux problématiques de l'EPR. L'objet de cette note est de synthétiser les choix de conceptions pris lors de cette conception et d'en expliquer succinctement les raisons.

Pour cela, une description détaillée des mécanismes EPR, ainsi qu'une comparaison avec les mécanismes existants sur le parc et les mécanismes de type KONVOI sera donnée, puis les choix de conceptions seront détaillés et expliqués.

3. Présentation des MCG

Cf. [1]

3.1 Généralités

Le couvercle de cuve EPR comprend 89 mécanismes de commande de grappes (MCG).

Les MCG sont placés sur le couvercle de la cuve du réacteur, à la verticale du cœur. Ce sont des vérins alternatifs électromagnétiques dont la fonction est de faire monter et descendre les tiges de commande accouplées aux grappes de contrôle et d'assurer la chute des grappes en cas d'arrêt. En introduisant dans le cœur une quantité plus ou moins grande d'absorbant, le réglage de la puissance du réacteur est possible par celui du flux neutronique.

Les MCG sont composés de quatre ensembles :

- L'enceinte sous pression (ESP) : c'est le corps du système. Elle est une partie intégrante de la deuxième barrière de confinement.
- L'ensemble mécanique de levée (EML) : c'est la partie fonctionnelle du MCG. Il comprend les grappins fixes et mobiles permettant de faire monter et descendre les grappes.
- L'ensemble électromagnétique (EEM) : c'est la partie commande du système. Situé à l'extérieur de l'ESP, cette partie regroupe les trois bobines permettant d'actionner l'EML, ainsi que les bobines de l'indicateur de position (IP) permettant de repérer la position des grappes dans le cœur.
- L'ensemble tige de commande (ETC) : c'est le lien entre le MCG et la grappe à commander. Solidaire des grappes, l'ETC comporte une partie cannelée permettant aux grappins de l'EML de la saisir et par conséquent de l'extraire ou de l'introduire dans le cœur.

Les principales données de conception des MCG EPR sont :

- Pression de calcul : 17,6 MPa absolu,
- Température de calcul : 351°C[1],
- Durée de vie : 6 millions de pas sur 60 ans,
- Temps maximum de chute des grappes : 3,5s sans séisme, 5s en cas de séisme,[2]
- Pas d'implantation sur le couvercle : 304 mm,
- Encombrement hors tout : volume cylindrique de diamètre 280 mm.

---

[1] La température de calcul de la cuve a été retenue de manière conservative. La température réelle de fonctionnement des MCG EPR est inférieure à 280°C.

[2] Valeurs du Rapport Préliminaire de Sûreté. Il est envisagé de rallonger ces temps respectivement à 3,79s et 6,58s (cf. courrier ECEMA080173)

3.2 Présentation détaillée des MCG EPR

3.2.1 L'enceinte sous pression

L'ESP est fixée sur les adaptateurs du couvercle de cuve par le biais d'une bride de liaison tenue par 10 goujons M22 venant appuyer une contre-bride, l'étanchéité étant assurée par deux joints coniques de type Conoseal. Hormis son système de fixation, elle est composée de cinq pièces (figure 1). De bas en haut, on trouve :

- La bride de liaison, qui va assurer l'étanchéité de la liaison ESP/adaptateur,
- Le carter sous pression dans lequel va venir se loger l'EML,
- Une pièce de connexion,
- La gaine de tige de commande,
- Et enfin le raccord d'anneau de levage.

L'assemblage de ces cinq pièces est assuré par quatre soudures dont deux liaisons bimétalliques.

Le carter sous pression, faisant face aux bobines d'actionnement de l'EML, est en acier martensitique. Le reste de l'ESP est en acier austénitique stabilisé.

L'ESP contient l'ETC et l'EML et constitue une enceinte étanche résistant à la pression du circuit primaire principal (CPP). Elle est également le support mécanique de l'EML et de l'EEM. Son diamètre intérieur varie de 43 à 120 mm, son épaisseur allant de 6 à 14 mm. Elle est haute d'environ 5 m. Elle n'est pas éventée.

3.2.2 L'ensemble mécanique de levée

L'EML est logé dans le carter sous pression de l'ESP. Il convertit les champs magnétiques générés par les bobines d'actionnement de l'EEM en séquence d'insertion ou d'extraction pas à pas de l'ETC.

Il est constitué de deux sous-ensembles :

- Le grappin fixe permettant de maintenir l'ETC en position,
- Le grappin mobile permettant d'extraire ou d'insérer l'ETC.

Les procédures d'insertion et d'extraction seront détaillées plus loin.

Chaque grappin comporte trois cliquets à simple denture qui vont s'insérer dans les cannelures de l'ETC, ainsi qu'un ensemble de pièces sensibles aux champs magnétiques qui vont contrôler l'insertion ou non des cliquets dans l'ETC. Le grappin mobile comprend en plus un pôle de levée qui va permettre l'insertion/extraction de l'ETC.

3.2.3 L'ensemble électromagnétique

L'EEM produit les champs magnétiques nécessaires à l'activation de l'EML. Il est situé à l'extérieur de l'ESP. Il est composé de trois bobines d'actionnement de l'EML, ainsi que de l'indicateur de position.

Les trois bobines d'actionnement de l'EML sont :

- La bobine de maintien, qui va permettre de fermer le grappin fixe,
- La bobine de transfert, qui va permettre de fermer le grappin mobile,

- La bobine de levée, qui va permettre la montée du grappin mobile.

L'indicateur de position est également composé de trois bobines :

- Une bobine longue permettant de repérer l'altitude de l'ETC dans sa gaine,
- Deux bobines courtes servant à repérer les positions limites haute et basse de l'ETC.

3.2.4 L'ensemble tige de commande

L'ETC est la partie mobile du MCG. Il est lié à une grappe de commande par son manchon d'accouplement.

Sa partie centrale est un tube sur lequel des cannelures sont usinées.

3.3 Comparaison avec MCG parc

CARACTERISTIQUES	EPR	N4	1300 MWe	900 MWe	Konvoi
Nombre de MCG	89	73	73	61	61
Masse totale des MCG (avec tige de commande)	456 kg	681,5 kg	720 kg	680 kg	389 kg
Denture des cliquets	simple	double	double	simple	simple
Masse des grappes grises	82,5 kg max.	60,2 kg	54 kg	59 kg	75 kg max.
Masse des grappes noires		48,8 kg	45 kg	67 kg	
Masse de l'ensemble mobile en air (tige de cde + max. grappe)	135,5 kg	154,5 kg			116 kg
Longueur ESP	5185 mm	6324 mm			4720 mm
Longueur tige de commande	6921 mm	7368 mm	7500 mm ou 7368 mm	7500 mm	6088 mm
Liaison MCG/Adaptateur	Bride boulonnée avec double joint Conoseal	Vissée avec joint soudé, Type joint Canopy	Vissée avec joint soudé	Vissée avec joint soudé	Bride boulonnée avec double joint Conoseal
Liaison carter/gaine de tige de commande	2 liaisons soudées bout à bout	2 liaisons vissées avec joints soudés	2 liaisons vissées avec joints soudés	2 liaisons vissées avec joints soudés	2 liaisons soudées bout à bout
Pas de déplacement élémentaire	10 mm	15.875 mm	15.875 mm	15.875 mm	10 mm
Course des ETC	4160 mm	4175 mm	4300 mm	3618 mm	3830 mm
Vitesse maximale de déplacement	750 mm/min (75 pas/min)	1143 mm/min (72 pas/min)	1143 mm/min (72 pas/min)	1143 mm/min (72 pas/min)	750 mm/min (75 pas/min)
Capacité maximale de levage	300 daN	400 daN	180 daN	160 daN (dont 18 daN de frottement sec)	300 daN
Température de fonctionnement des bobines en continu (de courte durée)	320°C	< 300 °C	200°c (230°C)	200°c	328°C
Circulation d'eau en chute de l'équipage mobile	à l'intérieur et à l'extérieur de la tige de commande	à l'extérieur de la tige de commande			à l'intérieur et à l'extérieur de la tige de commande
Tension d'alimentation des bobines de l'EML	220 V continu	125 V continu	125 V continu	125 V continu	220 V continu

Refroidissement EEM par air	en convection naturelle	en convection forcée	en convection forcée	en convection forcée	en convection naturelle
Capteur de position de la grappe de contrôle	intégré à l'EEM, 1 bobine secondaire	indépendant du MCG, plusieurs bobines secondaires			intégré à l'EEM, 1 bobine secondaire
Plage de courant des bobines de levée	9 A	40+/- 1,6 A (16 +/- 0,6A)	37,5+/- 2,5 A (14 +/-1A)	37,5+/- 2,5 A (14 +/-1A)	9,5 A
Plage de courant des bobines de maintien (courants plein/réduit) et de transfert	4 A (1,8 A)	8 +/-0,3 A (4,7 +/- 0,2A)	7,5 +/-0,5 A (4,3 +/- 0,2A)	7,5 +/-0,5 A (4,3 +/- 0,2A)	4 A (1,8 A)

4. Choix des MCG de type KONVOI

Lors de la conception de l'EPR, deux choix se présentaient pour les MCG : les MCG de type KONVOI et les MCG de type N4. Finalement, les MCG de type KONVOI ont été préférés, du fait de l'instrumentation du cœur qui se fait par le haut sur l'EPR. En effet, les MCG de type KONVOI ont un encombrement plus réduit que leurs homologues N4, ils permettaient donc de libérer de la place pour les pénétrations supplémentaires sur le couvercle de cuve.

Ce choix a été renforcé par d'autres avantages moins importants :

- Les MCG KONVOI refroidissent par convection naturelle, alors que les MCG N4 refroidissent par convection forcée (par le RRM, absent sur EPR),
- Le démontage de la liaison boulonnée est plus pratique que la liaison vissée du parc actuel, ce qui réduit l'impact d'un éventuel remplacement en terme de durée et de dosimétrie,
- Le REX d'exploitation allemand est satisfaisant.

5. Adaptation des MCG allemands à la législation française

Cependant, la conception des mécanismes allemands dépassait le cadre des habitudes et de la législation française. Cela a entraîné des réflexions quant à l'opportunité de modifier la conception de l'enceinte sous pression, par le biais notamment d'un passage en SPN le 16 avril 2005, ayant amené l'ASN à émettre des réserves et des recommandations [2], leur suivi ayant donné lieu à une Réunion Technique EDF/AREVA le 21 juin 2006. La note [3] donne le détail des travaux qui en ont résulté[3]. On en dresse par la suite un résumé traçant les grandes lignes.

5.1 Modification et contrôle des soudures

Les règles techniques françaises demandant la limitation du nombre de soudures, on a étudié la possibilité de supprimer les soudures des MCG de l'EPR (figure 1). Pour les

[3] Il est important de noter que les propositions détaillées dans la suite de la note sont instruites par l'ASN (cf. ECEMA080054).

soudures 1/2 et 2/3 hétérogènes, cela aurait entraîné des modifications de la conception de l'enceinte sous pression beaucoup trop lourdes. On s'est donc limité aux soudures 3/4 et 4/5.

Pour la soudure 3/4, deux solutions ont été envisagées : le beurrage du haut du carter sous pression ou l'allongement de la gaine de tige de commande de la longueur de la pièce de connexion.

Pour la soudure 4/5, deux alternatives à la solution actuelle ont été proposées : le remplacement du raccord d'anneau de levage par un bouchon vissé avec un joint d'étanchéité ou le forage d'un trou borgne dans une barre (figure 2).

Aucune de ces alternatives n'a cependant été retenue du fait des programmes conséquents de validation et de qualification nécessaires. Les 4 soudures ont donc été conservées. En contre-partie, le programme d'inspection en service de ces soudures a été renforcé [4].

Cela a entraîné une modification de la conception de l'enceinte. En effet, le contrôle de la soudure 1/2 selon la conception initiale nécessitait la dépose du MCG. Pour remédier à cela, cette soudure a été déplacée de 100 mm vers le haut [5].

5.2 Etanchéité de la liaison boulonnée

La liaison entre l'enceinte sous pression du MCG et l'adaptateur du couvercle de cuve est une liaison boulonnée dont l'étanchéité est assurée par deux joints Conoseal. L'ASN observe dans le rapport [6] que cette liaison peut présenter des problèmes de fuites aux niveaux des joints et a donc demandé l'installation d'un système de détection de fuite.

Il existe un système se composant d'une ligne de reprise de fuite qui va aboutir dans une boite de collecte disposée sur le calorifugeage fixe du couvercle de cuve (figure 3). Initialement, ce système a pour vocation de pouvoir effectuer un test d'étanchéité de l'assemblage boulonné lors du montage des MCG. La pratique des exploitants allemands consiste également à inspecter les boites de collectes où la présence de bore serait significative d'une fuite de l'assemblage.

Cependant, ce dispositif est encore l'objet de réserves sur le fait qu'il puisse répondre à lui seul à la demande de l'ASN. En effet, il ne permet un contrôle que lors des arrêts de tranche et ne permet pas la détection de fuite éventuelle pendant le fonctionnement de la tranche. L'ajout d'un système alternatif de détection de fuite est donc encore à l'étude.

5.3 Dispositif anti sismique

Le rapport [6] a mis en lumière le fait que, dans la conception initiale, les enceintes des mécanismes pouvaient s'entrechoquer en cas de séisme. L'ASN a donc, dans la lettre [2], recommandé de « prendre des dispositions afin de limiter les oscillations des enceintes de mécanismes, notamment lors d'un séisme ». Pour répondre à cette recommandation, un dispositif de limitation de déplacement de la tête des enceintes a été développé [7].

Ce dispositif (figure 4) se compose d'un cône tenu par un boulon vissé sur le raccord d'anneau de levage, engagé dans un cylindre limiteur de déplacement fixé sur la dalle anti missile. Ce cylindre limite le déplacement latéral du cône à 38 mm.

5.4 Utilisation de l'acier martensitique X3CrNiMo13-4

L'utilisation de ce type d'acier a toujours été proscrite sur le Parc pour les parties soumises à pression du CPP. Son utilisation pour les mécanismes EPR a donc été remise en question, d'autant plus que cet acier ne satisfait pas au critère ESPN [8] stipulant que le rapport entre la limite d'élasticité et la résistance à la traction doit être inférieur à 0,85. Cependant, ses propriétés magnétiques ont rendu impossible son remplacement. Son utilisation a donc été

acceptée après vérification de son bon comportement (ductilité suffisante et absence de vieillissement thermique significatif) et moyennant des spécifications adaptées sur certaines caractéristiques de ce matériau.

Il a tout d'abord fallu confirmer l'aptitude de l'acier martensitique à subir des déformations locales par l'établissement de critères sur la striction et l'expansion latérale [9]. Dans le même temps, le modèle prédictif de vieillissement thermique de ce matériau a été appliqué pour la configuration FA3 ; il a été démontré que ce modèle était validé par un programme d'essais et qu'il était représentatif de la configuration EPR [10]. Malgré cela, l'ASN a maintenu sa demande de réaliser des essais de vieillissement avec un matériau issu des coulées FA3.

Après une nouvelle demande de l'ASN [11], l'impossibilité technique de respecter le critère ESPN sur le rapport $R_{p0,2}/R_m$ a été démontrée [12].

Enfin, un dossier matériau [13] a été constitué afin de valider l'aptitude en service de cet acier. Ce dossier récapitule les différentes spécifications à respecter et traite la soudabilité des carters sous pression.

5.5 Utilisation de l'acier austénitique stabilisé au Niobium X6CrNiNb18-10

Les pièces de l'enceinte sous pression autres que le carter sous pression sont en acier austénitique stabilisé au Niobium. A l'exception de la gaine de tige de commande, la nuance utilisée est la nuance Z6CNNb18-11 issue du RCC-M. Cependant, la gaine de tige de commande est en X6CrNiNb18-10 issue des normes allemandes DIN EN. La raison est qu'on ne trouve pas dans le RCC-M de spécification pour un tube sans soudure en acier austénitique stabilisé. Son éventuel remplacement a donc été étudié dans le but de n'avoir que des matériaux issus du RCC-M.

Deux aciers de substitutions ont été envisagés : l'acier inoxydable austénitique à faible teneur en carbone Z2CN19.10 et l'acier inoxydable allié au molybdène Z2CND18-12 à teneur en azote contrôlée. Cependant, ces changements n'ont pas été retenus du fait du manque d'information quant aux propriétés magnétiques des alliages de substitution (une bonne perméabilité est nécessaire pour le fonctionnement de l'indicateur de position) et du programme de qualification assez lourd à mettre en place.

5.6 Utilisation de l'Inconel 82

Les soudures bimétalliques 1/2 et 2/3 sont en Inconel 82. Ce matériau présente une sensibilité à la corrosion sous contrainte. Même si les conditions d'exploitation (soudure détensionnée, température de fonctionnement comprise entre 250°C à 280°C[4]) permettent à priori de l'écarter, le risque d'apparition d'un endommagement par CSC, compte-tenu de l'objectif de durée de vie de 60 ans a été examiné.

On a donc étudié la possibilité de le remplacer. Le seul matériau envisageable alors est l'Inconel 52, moins sensible à la CSC. Cependant, la soudabilité de cet alliage plus récent n'est pas aussi aisée que celle de l'Inconel 82. En l'absence de REX sur le comportement en service de soudures en Inconel 52, le maintien de l'Inconel 82 a semblé préférable[5], moyennant un programme conséquent de contrôle en service de ces soudures.

---

[4] Des MCG seront instrumentés in situ pour vérifier ces valeurs.

[5] Pour mémoire, la solution de l'Inconel 52 a été retenue pour le futur EPR US, la NRC ayant strictement interdite l'utilisation d'Inconel 600.

6. Conclusion

Comparativement aux réacteurs des centrales à eau pressurisée du Parc EDF, la présence d'un récupérateur de corium sur EPR conduit à une nouvelle architecture de cuve qui reporte sur le couvercle de cuve l'ensemble des pénétrations nécessaires à l'instrumentation du cœur.

La présence sur le couvercle de cuve EPR des traversées nécessaires à l'actionnement des grappes de contrôle et des traversées supplémentaires liées à l'instrumentation implique que la conception des Mécanismes de Commande de Grappe (MCG) soit compatible avec l'implantation sur le couvercle de ces nombreuses traversées.

Le choix a été fait pour les mécanismes de commandes EPR de retenir une conception proche de ceux équipant les centrales allemandes. Ce choix s'inscrit dans la démarche générale de retenir pour EPR des solutions techniquement déjà éprouvées.

Cependant, les MCG de type KONVOI n'étaient pas utilisables en l'état pour l'EPR de Flamanville 3 du fait de la réglementation française. Cela a amené à étudier l'opportunité de plusieurs évolutions de conception, débattues notamment en Section Permanente Nucléaire le 16/04/05, puis lors de la revue technique EDF/AREVA du 21 juin 2006.

Ces évolutions concernaient globalement la partie enceinte sous pression des mécanismes. Finalement, peu de ces évolutions potentielles ont été appliquées, **le Constructeur préférant bénéficier du REX allemand et d'une conception « éprouvée ».** En contre-partie, de solides dossiers de justifications ont été réalisés.

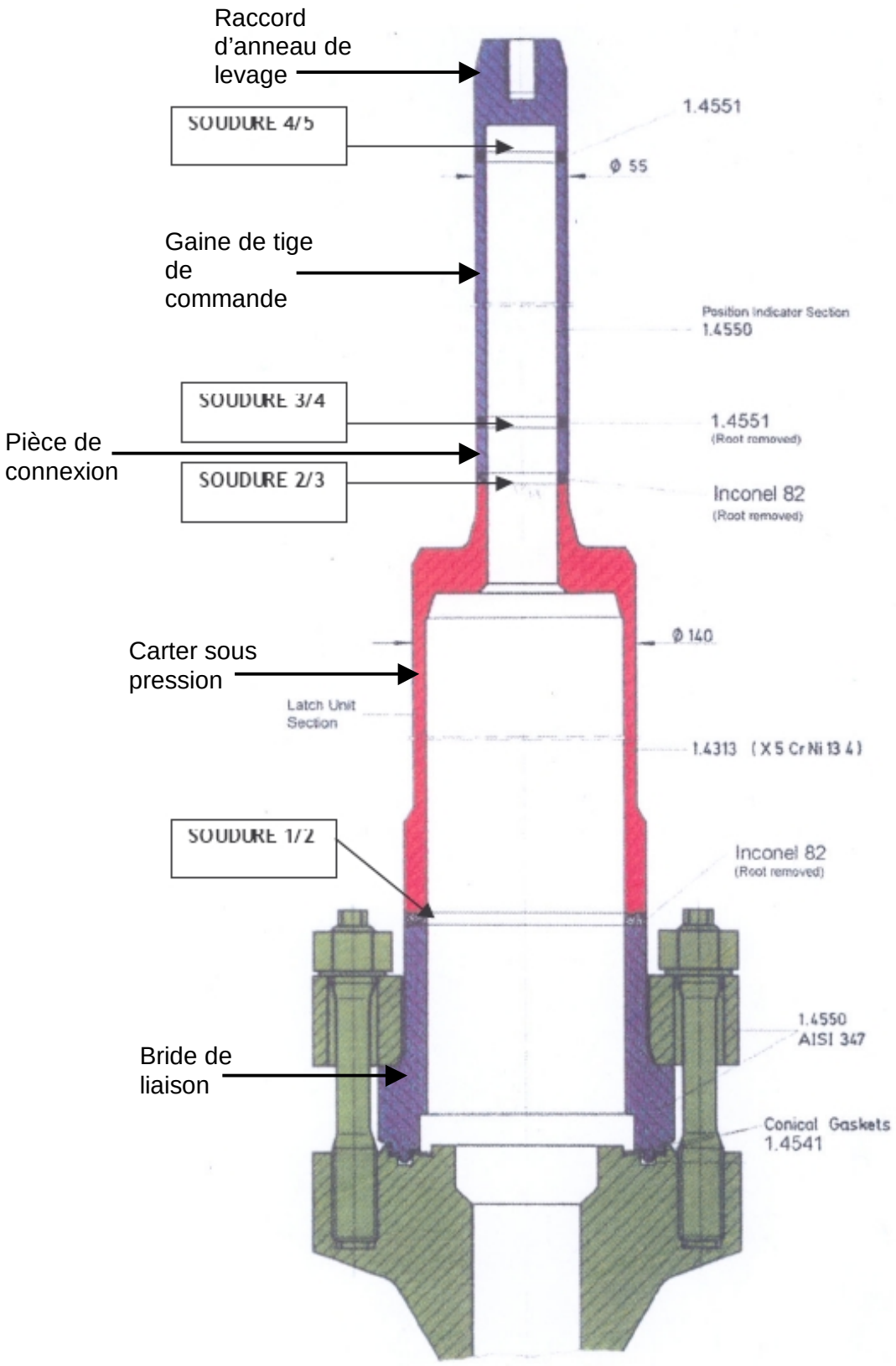


Figure 1 : Schéma de l'enceinte sous pression des MCG EPR

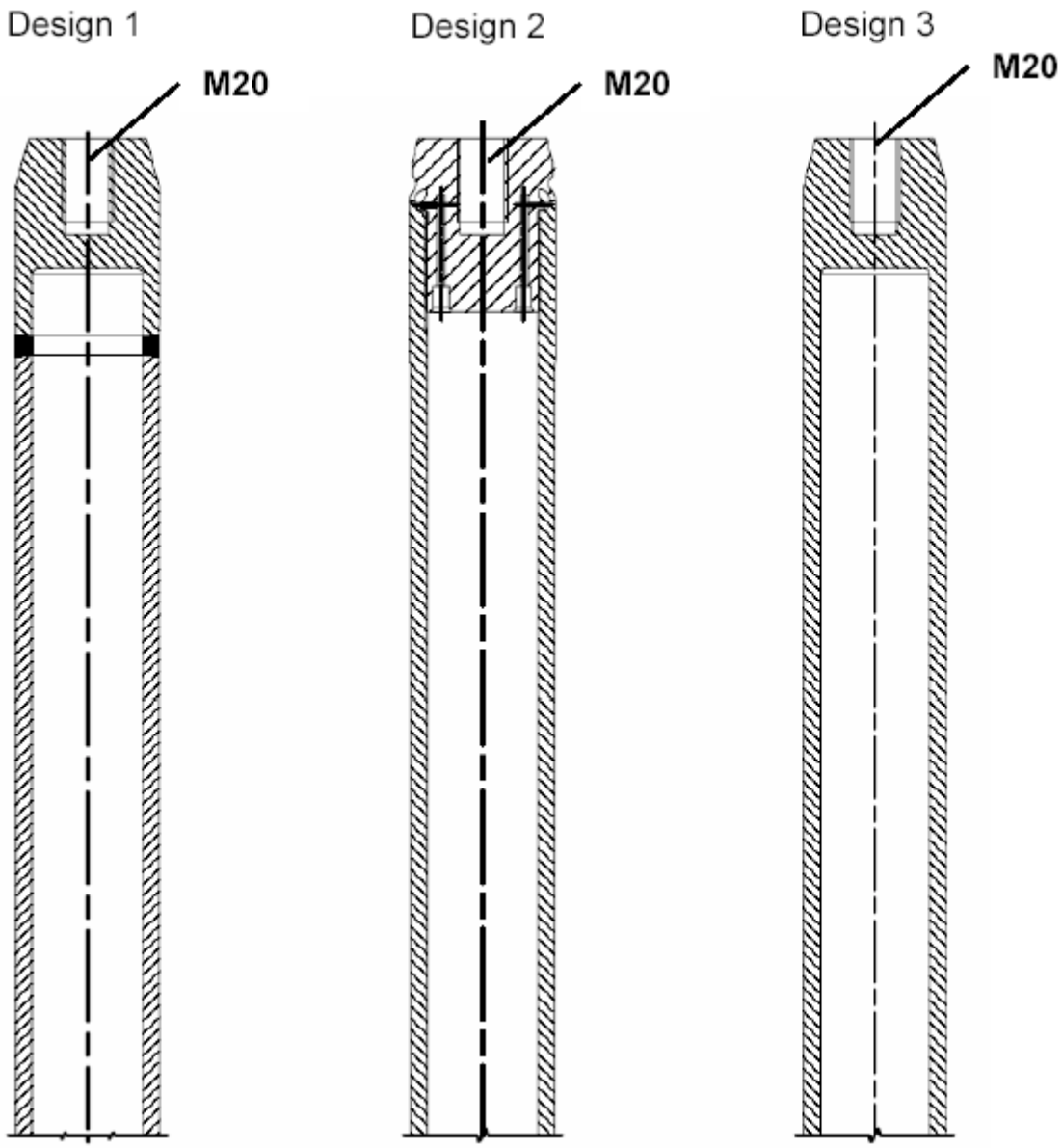
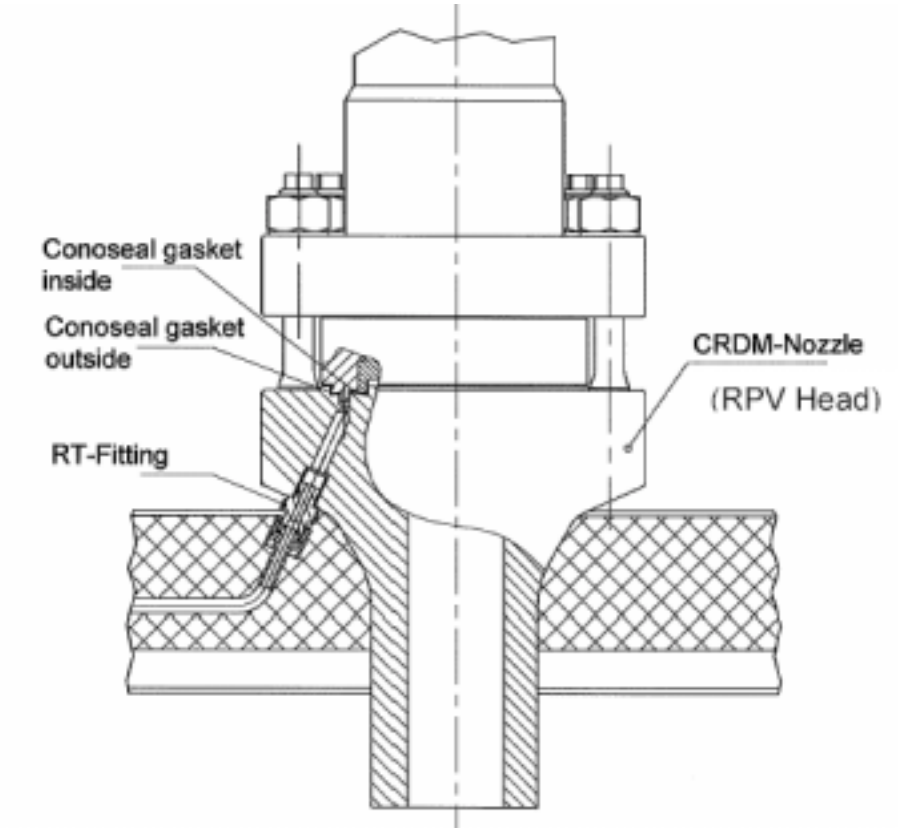
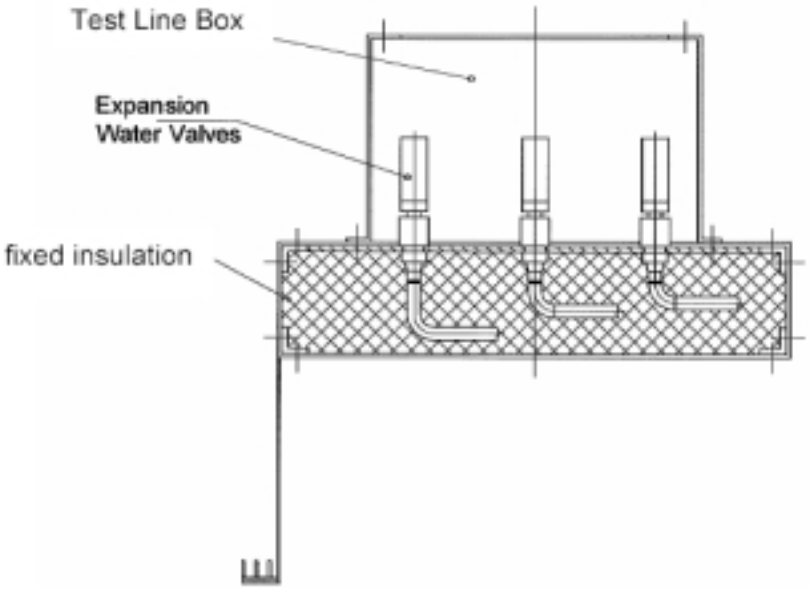


Figure 2 : Schéma des différentes conceptions de la gaine de tige de commande



a)



b)

Figure 3 : Schéma du système de détection de fuites (a) ligne de reprise au niveau de la liaison boulonnée, b) boite de collecte)

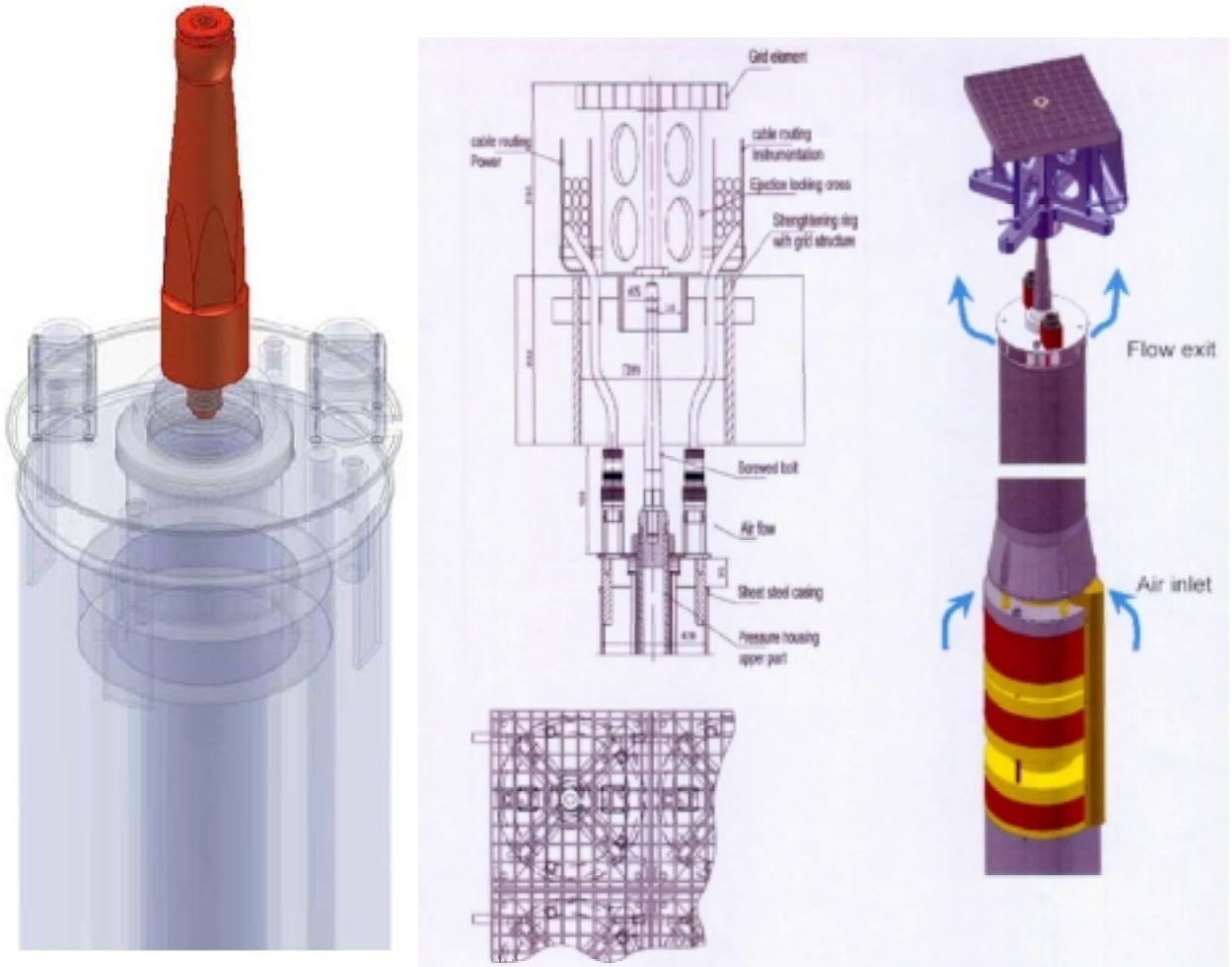


Figure 4 : Représentations du dispositif anti-sismique