

Fontenay-aux-Roses, le 20 juillet 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00153

Objet	CEA/Cadarache – INB n° 172 – Réacteur Jules Horowitz Dimensionnement des supports et des ancrages du circuit primaire principal à l'égard d'une rupture guillotine de l'élément particulier situé en casemate des traversées.
Réf.	[1] Lettre ASN - CODEP-DRC-2021-007344 du 9 mars 2021. [2] Lettre ASN - CODEP-DEP-2012-038415 du 18 juillet 2012.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier transmis par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) concernant la démarche de dimensionnement, à l'égard d'une rupture guillotine de l'élément particulier (EP) du circuit primaire principal (RPP) situé dans la casemate des traversées du réacteur Jules Horowitz (RJH), des dispositifs anti-débattement (DAD) et d'un système de fixation associés au circuit RPP.

1. CONTEXTE

Le RJH, dédié notamment aux études du comportement des matériaux et des combustibles sous irradiation pour les réacteurs électrogènes, est en cours de construction sur le site du CEA de Cadarache. Ce réacteur d'expérimentation de type « piscine » fait partie de l'installation nucléaire de base (INB) n° 172.

Le circuit de refroidissement du cœur du RJH (circuit RPP) est un circuit fermé contenant de l'eau légère, légèrement pressurisé. Il est constitué de trois files de 400 mm de diamètre (DN 400) comportant chacune un échangeur et une pompe primaire. Ces files sont connectées en amont du cœur, dans la casemate des traversées, à une file unique de 600 mm de diamètre (DN 600). Cette dernière chemine ensuite dans la piscine du réacteur (piscine RER) avant son raccordement au bloc-pile du réacteur (*cf.* figure en annexe 1).

Les éléments particuliers (EP) désignent les parties du circuit RPP renforcées par rapport au reste du circuit primaire, en raison des conséquences potentielles qu'aurait leur rupture, dont notamment une fusion généralisée du cœur. Dans la casemate des traversées, la partie du circuit RPP située en amont du cœur, allant des clapets de non-retour situés au refoulement des pompes primaires jusqu'à son entrée dans la piscine du réacteur, est un EP. Cet EP comporte dix soudures (repérées S1 à S10 sur la figure en annexe 1) qui constituent les zones à risque principal de rupture guillotine, situation accidentelle dénommée RGEP.

Afin de garantir l'absence de fusion du cœur en cas de RGEP, le CEA a prévu la mise en place d'un système de fixation nommé « point fixe RPP1 » et de DAD autour du RPP. Ces éléments visent à limiter, en cas de RGEP, le débatement des deux parties de tuyauteries rompues et donc la taille de la brèche par laquelle s'écoulerait l'eau contenue dans le circuit RPP. Ils sont ancrés au génie civil du bâtiment réacteur au moyen de 37 platines pré-scillées, une platine post-scillée¹ et des tiges d'ancrages.

En réponse à la demande de l'ASN citée en première référence, l'expertise de l'IRSN a porté sur la démarche de dimensionnement, à l'égard d'une RGEP, des DAD, du point fixe RPP1, ainsi que de leurs platines et ancrages. Cette expertise inclut l'évaluation, d'une part des efforts hydrauliques à la brèche, d'autre part des chargements mécaniques considérés pour le dimensionnement des équipements précités. L'IRSN a également examiné dans le cadre de cette expertise les éléments transmis par le CEA au regard des demandes 5 et 6 formulées par l'ASN dans la lettre citée en seconde référence. Ces demandes, rappelés en annexe 2 au présent avis, concernent respectivement la prise en compte du phénomène de débatement et les modalités de détermination des chargements mécaniques consécutifs à la RGEP.

De l'analyse des éléments transmis par le CEA, complétés des informations recueillies au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux points développés ci-après.

2. DÉMARCHE DE DÉTERMINATION DES CHARGEMENTS MÉCANIQUES SUR LES DAD ET LE POINT FIXE RPP1 EN CAS DE RGEP

2.1. CAS DES DAD

2.1.1. Efforts hydrauliques au droit de la brèche postulée sur l'EP

Pour chaque rupture guillotine postulée au droit de l'une des dix soudures de l'EP, le CEA détermine, en s'appuyant sur le principe de la conservation de la quantité de mouvement, l'effort exercé par le fluide sur chaque partie de la tuyauterie rompue. Il prend en outre en compte une majoration afin de couvrir les incertitudes et approximations inhérentes à la démarche. **Ceci n'appelle pas de remarque.** La démarche du CEA intègre par ailleurs les caractéristiques thermodynamiques du fluide au cours du transitoire RGEP et les effets dynamiques dus à l'écoulement du fluide, **ce qui répond de manière satisfaisante aux deux premiers volets de la demande 6 de l'ASN.**

2.1.2. Chargements mécaniques sur les DAD en cas de RGEP

Le CEA détermine les chargements mécaniques à appliquer sur les DAD en cas de RGEP à l'aide de calculs dynamiques utilisant une modélisation par éléments finis. Ces calculs sont effectués pour chaque rupture guillotine postulée au droit de l'une des dix soudures de l'EP en tenant compte, à l'instant initial, des efforts hydrauliques à la brèche présentés au § 2.1.1. **L'IRSN estime que les calculs mis en œuvre par le CEA permettent de modéliser correctement, d'une part le phénomène de débatement des tuyauteries en cas de RGEP, d'autre part le phénomène d'amplification dynamique. Ceci répond ainsi de manière satisfaisante à la demande D5 (pour ce qui concerne la détermination des chargements mécaniques) et au troisième volet de la demande D6 formulées par l'ASN (cf. annexe 2).**

La modélisation par éléments finis mise en œuvre par le CEA prend en compte les jeux maximaux entre les tuyauteries et les DAD. Ces jeux sont les jeux dits « à froid » qui existent lorsque le réacteur est à l'arrêt. Le CEA précise que ces jeux ont été définis afin que les DAD ne soient sollicités qu'en cas de RGEP. Sur ce point, l'IRSN

¹ Les platines pré-scillées ont été prévues à la conception du génie civil tandis que la platine post-scillée a été implantée une fois le génie civil réalisé.

estime que la valeur des jeux retenus a une influence de premier ordre sur les chargements mécaniques auxquels sont soumis les DAD en cas de RGEP, l'amplification dynamique des chargements sur les DAD étant d'autant plus importante que la valeur des jeux est élevée.

Pour définir ces jeux, si le CEA considère bien les déplacements maximaux des tuyauteries du circuit RPP induits par la combinaison enveloppe des efforts dus au poids propre des structures et du fluide du circuit RPP, à la dilatation thermique et au séisme, il n'a cependant pas tenu compte des déplacements que subiraient les DAD au regard des mêmes sollicitations. En conséquence, pour l'IRSN, l'absence de contact entre les DAD et le circuit RPP n'est pas garantie, notamment en cas de séisme. Sur ce point, le CEA a indiqué au cours de l'expertise qu'il révisera les valeurs des jeux pour tenir compte des déplacements complémentaires provenant des DAD et du génie civil. **Ceci est satisfaisant dans le principe. Il appartiendra au CEA de démontrer dans ce cadre, pour ces nouvelles valeurs de jeux, le respect, d'une part des règles et critères des codes de dimensionnement retenus par le CEA (cf. § 3 et 4), d'autre part des critères relatifs aux diamètres équivalents de brèche permettant d'assurer le maintien d'un refroidissement suffisant du cœur en cas de RGEP (cf. § 3). Le cas échéant, les éventuels écarts aux règles et critères de ces codes de dimensionnement, qui devront en tout état de cause rester en nombre limité, devront faire l'objet de justifications étayées de la part du CEA.**

Enfin, l'IRSN relève que, lors de l'installation des DAD, les jeux seront ajustés par la mise en place de cales de réglage, permettant ainsi de s'affranchir des incertitudes de fabrication et de montage. **Ceci n'appelle pas de remarque.** S'agissant du maintien de ces jeux dans le temps, le CEA a indiqué au cours de l'expertise qu'aucun programme de suivi périodique n'est à ce jour prévu. **Pour l'IRSN, ceci n'est pas satisfaisant. En effet, étant donné l'importance des jeux pour la sûreté du réacteur, l'IRSN estime nécessaires que ceux-ci fassent l'objet d'une vérification initiale complète et d'un suivi en service lors du fonctionnement de l'installation. Ceci fait l'objet de la recommandation formulée en annexe 3 au présent avis.**

2.2. CAS DU POINT FIXE RPP1

Le CEA détermine le chargement mécanique sur le point fixe RPP1 induit par la RGEP au moyen d'une approche forfaitaire pénalisante, selon laquelle l'effort statique induit par la pression du fluide est multiplié par un premier coefficient tenant compte de l'effet de jet de fluide dans le circuit RPP puis par un second coefficient communément utilisé pour prendre en compte le phénomène d'amplification dynamique. **Cette démarche n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN qui considère en outre qu'elle répond de manière satisfaisante aux demandes D5 et D6 formulées par l'ASN (cf. annexe 2).**

3. DÉMARCHE DE DIMENSIONNEMENT DES DAD ET DU POINT FIXE RPP1

S'agissant du dimensionnement des DAD et du point fixe RPP1 aux chargements mécaniques retenus en cas de RGEP, le CEA précise que les critères de niveau D de l'édition 2008 du recueil des règles de conception et de construction des matériels mécaniques des réacteurs expérimentaux, de leurs auxiliaires et des dispositifs d'irradiation (RCC-MX) sont retenus. Ces critères visent à prémunir les équipements contre les dommages d'instabilité élastique ou élastoplastique. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

Étant donné que les DAD et le point fixe RPP1 ont pour objectif de limiter le débattement des deux parties de tuyauteries rompues en cas de RGEP afin d'écartier le risque de fusion du cœur du réacteur, le CEA a évalué, à chaque instant du calcul dynamique évoqué *supra*, les diamètres équivalents de fuite pour chacune des ruptures guillotines postulées sur les dix soudures de l'EP et vérifié que ces diamètres de fuite restaient compatibles avec le maintien d'un refroidissement suffisant du cœur. Cette évaluation a consisté à calculer la surface de fuite totale, celle-ci se décomposant en une surface de fuite due au phénomène d'écartement axial entre les deux parties de la tuyauterie rompue et une surface de fuite due au phénomène de débattement radial entre ces deux mêmes parties. **L'IRSN estime que la démarche mise en œuvre par le CEA est adaptée et répond de façon**

satisfaisante à la demande D5 formulée par l'ASN (cf. annexe 2) pour ce qui concerne l'évaluation des diamètres équivalents de fuite.

4. DÉMARCHE DE DIMENSIONNEMENT DES PLATINES ET ANCRAGES DES DAD ET DU POINT FIXE RPP1

4.1. DÉMARCHE GÉNÉRALE

Pour ce qui concerne les platines et ancrages des DAD, la démarche du CEA a consisté à modéliser chaque platine et son système d'ancrage au moyen d'éléments finis en y incluant le bloc de béton qui leur sont associés. Les efforts les plus pénalisants issus des calculs effectués sur les DAD en cas de RGEP sont alors appliqués aux platines. Dans le cas spécifique des platines situées à proximité les unes des autres, une modélisation commune de ces dernières a été effectuée afin de prendre en considération le phénomène d'arrachement du béton pouvant survenir dans cette configuration. **Ceci est satisfaisant.** Le CEA précise par ailleurs qu'il justifiera *in fine* le bon dimensionnement des platines des DAD et de leurs ancrages suivant les critères d'admissibilité des règles de conception et de construction du génie civil du réacteur Jules Horowitz (RCCG-RJH), **ce qui n'appelle pas de remarque.**

Pour ce qui concerne les platines d'ancrage du point fixe RPP1, la démarche mise en œuvre par le CEA a consisté à modéliser chaque platine avec ses ancrages en considérant les efforts évalués sur le point fixe RPP1. Le CEA précise que le bon dimensionnement de ces platines sera *in fine* justifié en utilisant les critères d'admissibilité du document intitulé « *CEB Design guide – Design of fastenings in concrete* » référencé dans le RCCG-RJH. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

Le CEA a précisé au cours de l'expertise que, après renforcement de deux platines qui le nécessitaient, les règles de dimensionnement du RCCG-RJH sont respectées pour toutes les platines et tous les ancrages des DAD et du point fixe RPP1, sans nécessité de recourir à une analyse des marges disponibles. **Ceci est satisfaisant.**

L'IRSN relève par ailleurs que les 37 platines des DAD et celle du point fixe RPP1 sont des platines pré-scellées ancrées dans le béton à l'aide de goujons soudés sur la face interne de la platine. Pour l'IRSN, cette technologie d'ancrage est susceptible d'induire un risque de fragilité liée à un mécanisme d'endommagement de la platine dans son épaisseur appelé « arrachement lamellaire ». Sur ce sujet, le CEA a transmis un rapport établi par l'Institut de soudure sur lequel il base son analyse du risque en question. **L'IRSN n'a pas expertisé ce rapport, mais note que le CEA a pris en considération le risque d'arrachement lamellaire dans le dimensionnement des platines, ce qui est satisfaisant sur le principe.**

Enfin, l'IRSN relève que le CEA justifie le bon comportement des platines ancrées dans le béton à l'aide des goujons précités en se fondant sur des essais de qualification menés sur goujons de technologie similaire. **Cette démarche est acceptable.**

4.2. CAS DE LA PLATINE POST-SCELLÉE

Au cours de l'expertise, le CEA a précisé les caractéristiques et l'implantation d'une platine post-scellée associée au DAD positionné en regard de la tuyauterie de DN 600 de l'EP. Cette platine assure par ailleurs le supportage du circuit de réfrigération de sauvegarde des piscines implantées dans le bâtiment réacteur. Conformément à sa démarche générale, le dimensionnement de cette platine tient compte des efforts exercés par le DAD en regard de la tuyauterie de DN 600 de l'EP en cas de RGEP. L'IRSN relève que les tiges utilisées pour cette platine post-scellée sont ancrées à l'aide d'un produit de scellement chimique soumis à certaines restrictions d'usage au regard de conditions d'ambiance particulières (températures élevées, irradiation, etc.). À cet égard, le CEA a transmis, au cours de l'expertise, des éléments visant à justifier la compatibilité du produit de scellement retenu avec les conditions d'ambiance envisageables dans le local dans lequel est implantée la platine. **Les éléments transmis n'appellent pas de remarque.**

Enfin, concernant l'implantation de la platine post-scellée dans un voile qui comporte d'autres platines (en l'occurrence pré-scellées), l'IRSN rappelle que les ancrages entre platines doivent respecter des distances minimales en deçà desquelles leur capacité de résistance doit être minorée pour tenir compte de la répartition des contraintes dans le béton induite par la proximité des ancrages. Sur ce point, le CEA a confirmé au cours de l'expertise que la distance minimale entre les ancrages de la platine post-scellée et les ancrages des platines pré-scellées est supérieure à l'entraxe minimal requis. **Ceci est satisfaisant.**

5. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, l'IRSN considère que la détermination, par le CEA, des efforts hydrauliques qui s'appliqueraient sur l'élément particulier du circuit primaire principal du RJH situé en casemate des traversées, en cas de rupture guillotine, est satisfaisante. Il en est de même de la démarche d'évaluation des chargements mécaniques résultants utilisés pour le dimensionnement des dispositifs anti-débattement, du point fixe RPP1 ainsi que de leurs platines et ancrages.

Étant donné que les jeux entre les dispositifs anti-débattement et l'élément particulier en casemate des traversées constituent, au regard du phénomène d'amplification dynamique, un paramètre de première importance dans la détermination des chargements mécaniques sur ces dispositifs, **l'IRSN estime toutefois nécessaire que le CEA complète les vérifications des jeux prévues au démarrage du réacteur et mette en place un suivi de ceux-ci durant la phase de fonctionnement du RJH, ce qui fait l'objet de la recommandation formulée en annexe 3 au présent avis.**

En outre, l'IRSN considère que les différentes démarches de dimensionnement des DAD, du point fixe RPP1 et de leurs platines et ancrages sont satisfaisantes, notamment parce que celles-ci reposent sur l'application des règles usuelles des codes de dimensionnement (RCC-G RJH et RCC-MX). L'IRSN rappelle à cet égard que les jeux entre les tuyauteries et les dispositifs anti-débattement seront révisés par le CEA et que, dans le cadre de la reprise de l'étude de dimensionnement tenant compte des jeux révisés, les éventuels écarts aux règles usuelles des codes RCC-G RJH et RCC-MX, qui devront en tout état de cause rester en nombre limité, devront faire l'objet de justifications étayées de la part du CEA.

Enfin, l'IRSN considère que les réponses du CEA aux demandes 5 et 6 de l'ASN issues de la lettre citée en seconde référence sont satisfaisantes.

IRSN

Le Directeur général

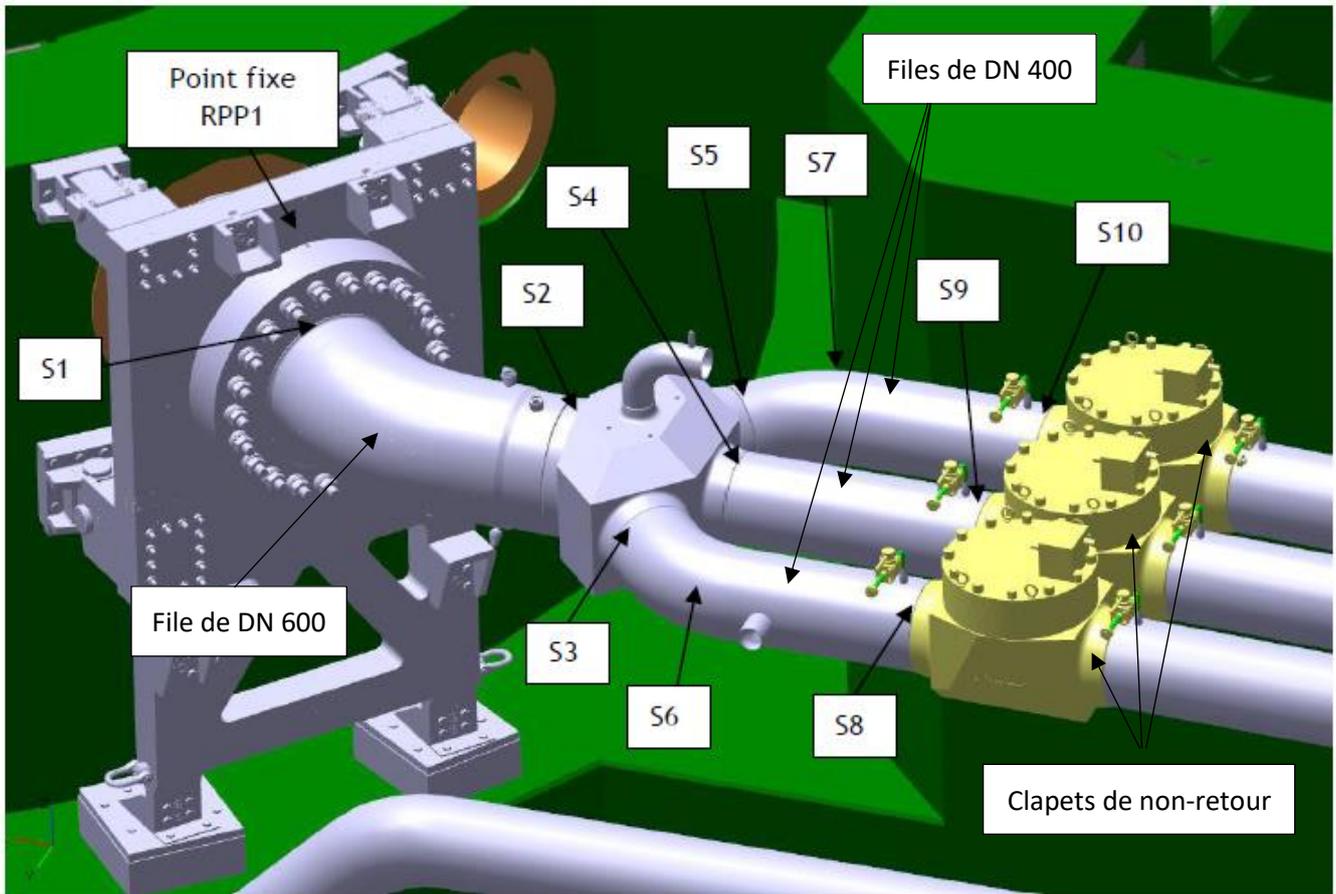
Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00153 DU 20 JUILLET 2022

Élément particulier du circuit RPP dans la casemate des traversées



ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00153 DU 20 JUILLET 2022

Rappel des demandes 5 et 6 formulées par l'ASN dans sa lettre en référence [2]

Demande 5

Je vous demande donc de veiller à la prise en compte du phénomène de débattement dans le dimensionnement des dispositifs que vous prévoyez.

Demande 6

Je vous demande d'évaluer l'effort imposé à la tuyauterie au cours d'un transitoire de brèche et de retenir sa valeur maximale pour le dimensionnement des dispositifs qui seront implantés pour limiter le débattement de l'élément particulier situé en casemate. Cette évaluation devra notamment prendre en compte :

- les caractéristiques thermodynamiques du fluide au cours du transitoire ;
- l'accélération du fluide due à la dépressurisation au niveau de la brèche ;
- l'amplification dynamique due au caractère « brusque » du chargement.

À défaut, je vous demande d'appliquer une valeur forfaitaire pénalisante. À cet égard, la formule usuelle suivante pourra être utilisée : $F_x = K \times P_{\text{initiale-sortie}} \times S_{\text{sortie}}$ (avec $K = 2$ pour le cas à étudier).

ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2022-00153 DU 20 JUILLET 2022

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande que le CEA prévoie et mette en place :

- au moment du démarrage du réacteur, une vérification des jeux entre les dispositifs anti-débattement (DAD) et le circuit primaire principal (RPP) en casemate des traversées lorsque le circuit RPP est à sa température nominale de fonctionnement ;
- lors du fonctionnement du réacteur, un programme de suivi périodique des jeux entre les DAD et le circuit RPP.