

Fontenay-aux-Roses, le 17 novembre 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00351

Objet : CEA/Cadarache  
INB n°24 - Cabri  
Premier essai expérimental actif de la boucle à eau sous pression

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DRC-2017-025511 du 3 juillet 2017  
2. Décision CODEP-CLG-2015-041738 du 13 octobre 2015  
3. Lettre ASN CODEP-DRC-2014-055292 du 22 décembre 2014

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les éléments transmis par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) en support de sa demande d'autorisation de procéder au premier essai expérimental actif de la boucle à eau sous pression (BEP) dans l'installation nucléaire de base (INB) n°24 implantée sur le centre nucléaire de Cadarache.

Cet essai est dit « actif » en raison du fait qu'il mettra en œuvre dans la BEP un crayon combustible irradié en vue d'y subir des excursions de puissance maîtrisées. À cet égard, il constituera le premier essai du programme international Cabri CIP<sup>1</sup> dédié à l'étude des accidents d'insertion de réactivité (RIA<sup>2</sup>) dans des conditions représentatives de celles susceptibles d'être rencontrées dans les réacteurs électrogènes à eau sous pression.

À la suite des derniers essais expérimentaux réalisés en 2002 dans l'ancienne boucle expérimentale au sodium de l'INB n°24, cette dernière a fait l'objet d'importants travaux liés notamment à la mise en place de la BEP. La première divergence du réacteur Cabri de l'installation ainsi modifiée a été autorisée par la décision de l'ASN citée en deuxième référence. Cette autorisation a permis au CEA d'engager les essais dits « post-divergence » de l'installation, réalisés sans crayon combustible irradié dans la BEP. Ces essais font partie du programme général des essais dits « de commission » de l'installation modifiée qui visent à garantir l'aptitude des systèmes nouveaux ou modifiés de l'installation à remplir leur fonction lors des futurs essais expérimentaux du programme CIP.

Adresse Courrier  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

Siège social  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre 8 440 546 018

<sup>1</sup> Cabri international program.

<sup>2</sup> Reactivity initiated accident.

Le dossier transmis par le CEA en support de sa demande d'autorisation comporte notamment un rapport de synthèse relatif à l'ensemble des essais de commission réalisés et une mise à jour du référentiel de sûreté de l'INB n°24 comprenant en particulier le rapport de sûreté et les règles générales d'exploitation (RGE) ayant vocation à devenir d'application lors des essais expérimentaux.

En réponse à la demande de l'ASN en première référence, l'IRSN a évalué la pertinence des éléments transmis par le CEA en réponse à ses engagements et aux demandes de l'ASN issus d'instructions antérieures et identifiés comme devant être soldés avant la mise en œuvre du premier essai expérimental actif de la BEP. Ces demandes et engagements résultent en particulier de l'examen des rapports préliminaire et provisoire de sûreté établis dans le cadre de la mise en place de la BEP.

Par ailleurs, l'IRSN a évalué l'incidence, du point de vue de la sûreté des essais expérimentaux, des modifications matérielles et de fonctionnement de l'installation présentées par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté.

Enfin, l'IRSN a examiné le chapitre descriptif relatif au poste IRIS<sup>3</sup> d'examen non destructif du crayon combustible d'essai, intégré dans la mise à jour du rapport de sûreté.

Il convient de noter que l'ASN a demandé à l'organisme belge BEL V<sup>4</sup> d'examiner le programme et les résultats des essais de commission « post-divergence » susmentionnés. À cet égard, l'évaluation de l'IRSN s'est appuyée, autant que de besoin, sur l'expertise menée par BEL V.

De l'évaluation du dossier transmis par le CEA, complété par les éléments recueillis au cours de l'instruction, l'IRSN retient les principales conclusions suivantes.

### **1 - Installation Cabri modifiée après mise en place de la BEP**

Le réacteur Cabri, de type piscine, implanté dans le bâtiment principal de l'INB n°24, comprend :

- un cœur nourricier contenu dans la piscine du réacteur (cf. figure 1 en annexe 1), constitué d'assemblages combustibles de type UO<sub>2</sub> dont l'uranium présente une teneur en isotope 235 maximale de 6% ;
- la BEP dont la fonction est de reproduire des conditions thermo-hydrauliques similaires à celles rencontrées dans un réacteur à eau sous pression ; la partie de la BEP située au centre du cœur nourricier, appelée cellule EP, est destinée à accueillir le crayon combustible d'essai placé dans un dispositif d'essai (cf. figure 2 en annexe 1).

Les opérations de chargement et de déchargement des assemblages combustibles du cœur nourricier sont réalisées par transferts unitaires d'assemblages entre le cœur et un poste intermédiaire d'entreposage des assemblages appelé « poste de reprise ». Deux emplacements, dédiés à l'entreposage en conteneur étanche d'assemblages qui présenteraient des dégradations de la gaine des crayons combustibles qui les composent, sont également prévus à proximité du poste de reprise (cf. figure 3 en annexe 1).

Le transfert des assemblages combustibles du cœur, depuis la piscine du réacteur vers le bac d'entreposage sous eau appelé « bac annexe » (cf. figure 1 en annexe 1), est effectué à l'aide d'un emballage de transport dénommé « château X », manutentionné au moyen du pont roulant du hall du réacteur.

<sup>3</sup> Installation de radiométrie, d'imagerie et de spectrométrie.

<sup>4</sup> Filiale de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) belge.

Dans le cadre des essais expérimentaux de type RIA, l'insertion rapide et maîtrisée de réactivité dans le cœur du réacteur Cabri est obtenue par la dépressurisation de quatre barres, appelées « barres transitoires », implantées dans le cœur et remplies d'un gaz neutrophage (hélium-3).

Lors d'un essai expérimental conduisant à la rupture de la gaine du crayon d'essai<sup>5</sup>, les fragments de combustible les plus importants entraînés par l'eau de la BEP sont collectés dans un filtre placé en partie supérieure du dispositif d'essai, tandis que les fragments de combustible de plus petite dimension sont collectés dans un filtre mécanique installé sur la portion de la BEP située entre la piscine du réacteur et l'alvéole du « caisson EP<sup>6</sup> », dénommé « filtre EP ». Une fois l'essai expérimental terminé, l'eau de la BEP chargée en substances radioactives est alors vidangée dans un réservoir prévu à cet effet et épurée à l'aide d'un système dédié.

## **2 - Expertise des essais de commission menée par BEL V**

L'expertise réalisée par BEL V à la demande de l'ASN a tout d'abord porté sur le programme des essais « post-divergence » établi par le CEA, ce programme décrivant les objectifs et les conditions de réalisation des essais, ainsi que sur les critères retenus pour juger de la conformité des résultats d'essais aux attendus. BEL V a ensuite examiné les résultats de ces essais, ainsi que les éventuelles dispositions complémentaires prises par le CEA (essais additionnels, justifications particulières) pour conclure définitivement sur l'atteinte des objectifs assignés aux différents essais.

En conclusion de son expertise, BEL V considère que le programme des essais de commission « post-divergence » qui a été soumis à son examen est satisfaisant. Il souligne par ailleurs que ces essais ont été réalisés conformément à ce programme et que les réserves émises dans le cadre de certains essais ont toutes été levées. Enfin, BEL V estime que les résultats obtenus sont conformes aux attendus et que les éléments intégrés par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté pour tenir compte de ces essais sont acceptables.

## **3 - Évaluation des éléments transmis par le CEA en réponse à ses engagements et aux demandes de l'ASN**

### **3.1 Préambule**

Les demandes de l'ASN et les engagements du CEA, qui ont donné lieu à l'intégration d'éléments dans la mise à jour du rapport de sûreté et des règles générales d'exploitation transmise par le CEA, correspondent aux sujets techniques identifiés comme devant être soldés préalablement à la réalisation du premier essai expérimental actif de la BEP. Ces demandes et engagements sont rappelés en annexe 2 au présent avis.

Par ailleurs, l'IRSN relève que le CEA n'a pas répondu à la demande de l'ASN de « *présenter une évaluation des conséquences d'une chute du château X dans le bac annexe* », cette demande ayant été formulée à l'issue de l'instruction, menée en 2010, de l'analyse des risques de criticité dans le bac annexe. Sur ce point, l'IRSN note que, dans le cadre de la présente instruction technique, **le CEA a pris l'engagement formulé en annexe 3 au présent avis, lequel est jugé satisfaisant par l'IRSN.** L'IRSN considère en effet que les conditions d'entreposage précisées dans cet engagement permettent de garantir la sûreté-criticité du bac annexe, quelle que soit la configuration envisagée de chute du château X dans ce bac. En cas de besoin d'entreposage d'assemblages combustibles dans le bac annexe qui ne respecterait pas ces conditions, les

<sup>5</sup> L'essai expérimental est dans ce cas qualifié d'essai « rupté ».

<sup>6</sup> Aussi appelé « caisson principal » de la BEP.

éléments transmis par le CEA en support de la demande d'autorisation mentionnée dans l'engagement précité feront l'objet d'un examen par l'IRSN.

S'agissant plus généralement de la prise en compte par le CEA des demandes et engagements dont le solde a été identifié comme un préalable à la réalisation du premier essai expérimental actif de la BEP, l'évaluation de l'IRSN a porté sur les aspects suivants : l'analyse des risques de criticité, la détermination des caractéristiques neutroniques du cœur, les études de sûreté liées au cœur, la gestion des effluents liquides issus de la BEP, la prévention des risques de corrosion de la BEP, ainsi que la prise en compte des facteurs organisationnels et humains pour la sûreté de l'exploitation.

**Les éléments transmis par le CEA en réponse à ses engagements et aux demandes de l'ASN concernant la détermination des caractéristiques neutroniques du cœur, la prévention des risques de corrosion de la BEP et la prise en compte des facteurs organisationnels et humains n'appellent pas de remarque de l'IRSN. En particulier :**

- pour ce qui concerne les aspects neutroniques, le CEA a présenté, dans la mise à jour du rapport de sûreté, une nouvelle étude neutronique de référence du cœur Cabri tenant compte de la BEP, réalisée en 2016 avec le code de calcul TRIPOLI-4 utilisant une récente bibliothèque de sections efficaces ponctuelles<sup>7</sup>. **L'utilisation du schéma de calcul retenu par le CEA pour cette étude n'appelle pas de remarque de l'IRSN.** Le CEA a notamment montré, sur la base de cette étude, que l'efficacité des barres de commande et de sécurité, qui équipent le système de protection du réacteur, est suffisante au regard de la maîtrise de la réactivité de ce dernier. **L'IRSN considère en outre que la validation expérimentale des paramètres neutroniques établis par la nouvelle étude neutronique est satisfaisante.** Enfin, l'IRSN note que cette nouvelle étude conduit à des résultats très proches de ceux présentés dans l'étude du rapport de sûreté en vigueur ;
- s'agissant de la prévention des risques de corrosion de la BEP, le CEA propose, sur la base notamment d'une étude bibliographique et d'essais réalisés en laboratoire, d'effectuer, après un essai « rupté », les opérations de décontamination de la BEP par rinçage à l'eau déminéralisée de très haute pureté. **Cette solution est jugée satisfaisante par l'IRSN ;**
- concernant les facteurs organisationnels et humains (FOH), l'évaluation de l'IRSN a porté sur la démarche mise en œuvre par le CEA pour évaluer l'efficacité et le caractère suffisant des dispositions techniques, organisationnelles et humaines prises en matière de prévention, de détection et de limitation des conséquences à l'égard de défaillances d'origine FOH susceptibles de survenir lors des opérations sensibles pour la sûreté. L'IRSN a également examiné les enseignements que le CEA a tirés des observations et de l'analyse des opérations sensibles réalisées dans le cadre des essais de commission. **L'IRSN considère que la démarche FOH mise en œuvre par le CEA est satisfaisante et que le CEA a pris en compte de manière pertinente les enseignements issus des observations faites lors des essais de commission.**

L'évaluation de l'IRSN concernant l'analyse des risques de criticité, les études de sûreté liées au cœur, ainsi que la gestion des effluents issus de la BEP, appelle les remarques suivantes.

---

<sup>7</sup> Il s'agit de la bibliothèque de sections efficaces dénommée JEFF3.1.1.

### 3.2 Analyse des risques de criticité

L'IRSN estime que la prise en compte, dans la mise à jour du rapport de sûreté et des règles générales d'exploitation, des demandes formulées par l'ASN concernant l'analyse des risques de criticité est globalement satisfaisante. Toutefois, l'IRSN considère que des compléments devraient être apportés par le CEA afin de conforter la démonstration de sûreté.

Ainsi, le CEA retient, dans la mise à jour du rapport de sûreté, la situation incidentelle de basculement, puis de chute, des assemblages entreposés dans le poste de reprise ou dans les emplacements prévus pour les assemblages « ruptés ». Cette situation ne correspond *a priori* pas à celle considérée dans l'étude de criticité transmise par le CEA en support de la démonstration de sûreté présentée dans la mise à jour du rapport de sûreté, cette étude modélisant la chute dans le poste de reprise d'un assemblage en cours de manutention. Les différences identifiées portent en particulier sur les modalités de prise en compte des conditions de réflexions neutroniques liées à la proximité des éléments réflecteurs en graphite du cœur et du poste de reprise (cf. figure 3 en annexe 1). L'IRSN a toutefois vérifié que la réflexion apportée par ces éléments réflecteurs n'est pas susceptible d'induire un risque de criticité en cas de regroupement des assemblages combustibles chutés. **En tout état de cause, l'IRSN considère que le CEA devrait préciser la situation incidentelle étudiée dans le rapport de sûreté et justifier les hypothèses de réflexions neutroniques considérées dans l'étude de criticité associée. Ceci fait l'objet de l'observation n°1 formulée en annexe 4 au présent avis.**

Par ailleurs, le CEA a mis à jour la masse maximale de matière fissile autorisée dans le poste IRIS et dans la hotte de transfert pour tenir compte de la réflexion neutronique apportée par le blindage radiologique des équipements. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN. Toutefois, le CEA devrait mettre à jour le référentiel de sûreté de l'installation afin de tenir compte de cette nouvelle limite de masse de matière fissile. Ceci fait l'objet de l'observation n°2 formulée en annexe 4 au présent avis.**

### 3.3 Études de sûreté liées au cœur

L'IRSN estime que la prise en compte, dans la mise à jour du rapport de sûreté et des règles générales d'exploitation, des demandes formulées par l'ASN et de l'engagement pris par le CEA concernant les études de sûreté liées au cœur (cf. annexe 2) est globalement satisfaisante.

Dans ce cadre, le CEA a en particulier présenté, au cours de l'instruction, la nouvelle étude de référence de l'accident de surpuissance<sup>8</sup> réalisée à l'aide de la chaîne de calculs DULCINEE<sup>9</sup> - SCANAIR4C<sup>10</sup> qui sera également utilisée pour calculer, de manière prédictive, le comportement thermomécanique attendu des crayons du cœur dans le cadre des essais expérimentaux du programme CIP. Cette chaîne de calculs prend en compte les valeurs des paramètres cinétiques (fraction effective de neutrons retardés et temps de génération des neutrons prompts), du coefficient de contre-réaction Doppler et des facteurs de forme de puissance établies à l'aide de calculs neutroniques réalisés avant 2009 avec les codes de calcul MCNP et TRIPOLI-4. **Compte tenu de la mise à jour susmentionnée de l'étude neutronique de référence du cœur Cabri, l'IRSN considère que, pour des raisons de cohérence d'ensemble de la démonstration de sûreté, les études de**

<sup>8</sup> Transitoire accidentel le plus sollicitant pour le cœur résultant d'une insertion de réactivité induite par une dépressurisation rapide de l'hélium-3 dans les barres transitoires, la pression initiale de l'hélium-3 dans ces barres étant à la valeur maximale autorisée.

<sup>9</sup> Le logiciel de calcul DULCINEE permet de prédire la trace de puissance due à la dépressurisation de l'hélium-3 dans les barres transitoires à partir des paramètres de dépressurisation de ces dernières.

<sup>10</sup> Le logiciel de calcul SCANAIR permet de simuler le comportement thermomécanique du crayon soumis à une insertion de réactivité (évaluation de la température du combustible, déformation et température de la gaine) à partir de la trace de puissance du crayon.

sûreté du rapport de sûreté réalisées avec le chaînage DULCINEE - SCANAIR4C devraient prendre en compte les valeurs des paramètres cinétiques et des facteurs de forme de puissance issues de la nouvelle étude neutronique réalisée en 2016 et la valeur du coefficient de contre-réaction Doppler réévaluée en tenant compte de cette étude. Ceci fait l'objet de l'observation n°3 formulée en annexe 4 au présent avis, qui ne remet cependant pas en cause les conclusions de l'évaluation de l'IRSN concernant les études de sûreté liées au cœur.

#### 3.4 Gestion des effluents issus de la BEP

S'agissant de la sûreté de la gestion des effluents liquides et gazeux de la BEP, l'ASN a considéré, dans la lettre citée en troisième référence, que la majeure partie des engagements pris par le CEA dans le cadre de l'examen du rapport préliminaire de sûreté était soldée. L'ASN avait toutefois estimé que certains engagements étaient soldés sous réserve de l'intégration, dans la prochaine mise à jour du rapport de sûreté, des éléments de réponse du CEA présentés lors de l'instruction de ce sujet menée par l'IRSN en 2014. Elle avait en outre indiqué que l'engagement III-3.E30 et sa demande rappelés en annexe 2 au présent avis restaient à prendre en compte.

**L'IRSN estime que le CEA a correctement intégré, dans la mise à jour du rapport de sûreté transmise, les éléments présentés lors de l'instruction de 2014, s'agissant des engagements précités considérés « soldés sous réserve » par l'ASN.**

Concernant l'engagement III-3.E30 pris par le CEA à l'égard de la maîtrise des risques de dissémination de substances radioactives lors des opérations de dépotage des effluents liquides de la BEP, il convient de rappeler que le circuit de dépotage des effluents liquides de la BEP est constitué, à l'extérieur du hall du réacteur, de deux lignes distinctes. La première ligne, dédiée au transfert des effluents de moyenne activité (MA) ou de haute activité (HA), est équipée d'une double enveloppe. S'agissant de la seconde ligne, destinée au dépotage des effluents de faible activité (FA), l'IRSN note que le CEA a retenu la mise en place d'une double enveloppe sur l'ensemble de la ligne, hormis sur la partie fixe de cette ligne située en hauteur, d'une longueur limitée, pour des raisons liées notamment à la sécurité du personnel. L'IRSN estime à ce sujet que le test d'étanchéité de la ligne de transfert que le CEA prévoit de réaliser en amont de l'opération de dépotage des effluents est de nature à limiter le risque de fuites. Par ailleurs, l'IRSN note que, dans l'éventualité d'une brèche sur la ligne, l'entrée d'air dans le circuit entraînerait l'arrêt du transfert d'effluents et limiterait ainsi le volume d'effluents liquides qui serait déversé, sachant en outre que ceux-ci seraient recueillis dans une bache de rétention préalablement positionnée sur le sol. **En tout état de cause, l'IRSN estime que les dispositions prévues par le CEA à l'égard du dépotage des effluents liquides FA de la BEP peuvent être considérées suffisantes. Le CEA devrait toutefois mettre à jour, dans le référentiel de sûreté, la description de la ligne de dépotage des effluents FA et les modalités d'exploitation retenues pour les deux lignes de dépotage dédiées respectivement aux effluents MA/HA et aux effluents FA. Il devrait par ailleurs compléter la description des dispositions de maîtrise des risques de dissémination des substances radioactives lors des opérations de dépotage des effluents liquides de la BEP. Ces points font l'objet des observations n°4 et n°5 formulées en annexe 4 au présent avis.**

En réponse à la demande de l'ASN rappelée en annexe 2 au présent avis, le CEA a présenté une étude des conséquences radiologiques, pour le personnel et le public, en cas de « *petite brèche sur le circuit d'effluents liquides de la boucle EP (hors du caisson principal)* ». Dans cette étude, il est considéré de manière conservatrice que les effluents liquides de la boucle EP ont été contaminés à la suite d'un essai expérimental ayant conduit à la rupture de la gaine du crayon combustible d'essai.

De l'évaluation réalisée par l'IRSN, il ressort que l'inventaire radiologique retenu par le CEA pour l'étude ne comprend pas d'actinides. Or, les caractéristiques et les performances du système de filtration de l'eau contaminée de la BEP, constitué du filtre du dispositif d'essai et du filtre EP, ne permettent pas de garantir que la quantité d'actinides éjectée du crayon combustible lors d'un essai « rupté » soit intégralement retenue dans ces filtres.

Par ailleurs, le CEA considère, pour l'évaluation des conséquences radiologiques à l'égard du personnel, que les substances radioactives mises en suspension à la suite de la brèche sont instantanément diluées dans la totalité du volume du hall du réacteur. Pour l'IRSN, cette hypothèse n'est pas conservative compte tenu du délai relativement court retenu dans l'étude du CEA pour l'évacuation du personnel et de l'incertitude résidant dans la localisation précise du personnel lors de l'évènement.

Enfin, s'agissant de l'évaluation des conséquences radiologiques pour le public en cas d'occurrence d'une brèche sur le circuit d'effluents, l'IRSN relève que le CEA n'a pas présenté d'estimation pour les personnes du public résidant à proximité de l'installation, tel que cela est effectué dans le rapport de sûreté en vigueur, une telle évaluation nécessitant de prendre en compte la voie d'exposition aux rayonnements ionisants par ingestion.

Même si les remarques susmentionnées ne remettent pas en cause la conclusion du CEA quant à l'acceptabilité des conséquences radiologiques à l'égard du personnel et du public en cas de brèche sur le circuit d'effluents liquides de la boucle EP (dose efficace inférieure à 5 mSv pour le personnel et doses efficace et équivalente à la thyroïde inférieures au mSv pour le public), l'IRSN estime que le CEA devrait mettre à jour le rapport de sûreté pour en tenir compte. Ceci fait l'objet des observations n°6 et n°7 formulées en annexe 4 au présent avis.

#### **4 - Modifications matérielles et de fonctionnement de l'installation Cabri présentées par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté**

Parmi les modifications matérielles et de fonctionnement présentées par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté, l'IRSN a focalisé son évaluation sur les trois modifications suivantes :

- le remplacement, par des adsorbants minéraux, des résines échangeuses d'ions initialement envisagées par le CEA pour épurer les effluents liquides de la BEP ;
- la suppression, pour les essais de type RIA, du matelas gazeux en partie haute de la zone du dispositif d'essai en place dans la cellule EP, lors du fonctionnement de la BEP ;
- la suppression de la limitation de la puissance de fonctionnement du réacteur à 10 MW lors de l'utilisation de la « perche hodoscope » pour calibrer l'hodoscope.

La première modification n'appelle pas de remarque particulière étant donné en particulier l'efficacité, en terme d'épuration, des adsorbants minéraux retenus et l'avantage que leur mise en œuvre présente au regard de la moindre production d'hydrogène de radiolyse lors de leur entreposage en conteneur étanche dans le bac 60 (cf. figure 1 en annexe 1) en comparaison des résines échangeuses d'ions.

Mis en place dans le cadre du fonctionnement de l'ancienne boucle au sodium de l'installation, le matelas gazeux en partie haute de la zone du dispositif d'essai avait notamment pour rôle d'empêcher le contact direct de l'eau de la BEP avec les joints d'étanchéité du dispositif d'essai (cf. figure 2 en annexe 1) et de limiter les températures atteintes au niveau de ces joints afin de prévenir les risques de perte d'étanchéité

de ces derniers. Compte tenu, d'une part des essais de qualification réalisés pour vérifier l'étanchéité des joints soumis aux conditions de température et de pression de la BEP, d'autre part des dispositions mises en place par le CEA pour maîtriser leur température lors du fonctionnement de la BEP<sup>11</sup> et limiter les conséquences d'une éventuelle perte d'étanchéité des joints<sup>12</sup>, **l'IRSN considère que la suppression du matelas gazeux en partie haute de la zone du dispositif d'essai en place dans la cellule EP lors du fonctionnement de la BEP pour les essais de type RIA est acceptable.**

Lors d'un essai expérimental, le déplacement axial du combustible testé est mesuré par un équipement appelé hodoscope, calibré à l'aide d'un dispositif appelé « perche hodoscope », contenant un crayon d'UO<sub>2</sub> non irradié, introduit dans la cellule EP en lieu et place du dispositif d'essai. La calibration s'effectue en régime de fonctionnement permanent du réacteur, pour une puissance du réacteur stable limitée jusqu'à présent, selon le rapport de sûreté de l'installation, à une valeur d'environ 10 MW. Compte tenu du fait que les spécifications de conception et de réalisation de la perche hodoscope sont analogues à celles d'un dispositif d'essai et que les sollicitations thermiques et mécaniques que subit la perche hodoscope lors du fonctionnement en puissance stabilisée du réacteur sont inférieures à celles que subit le dispositif d'essai lors des transitoires de puissance de type RIA, **l'IRSN n'a pas d'objection à la suppression de la limitation de la puissance de fonctionnement du réacteur à 10 MW lors de la calibration de l'hodoscope à l'aide de la perche.**

Les autres modifications présentées par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté concourant de manière évidente au renforcement global de la sûreté de l'installation ou relevant de la protection de matériels sans lien direct avec la sûreté de l'installation, **l'IRSN considère que, du point de vue de la sûreté des essais expérimentaux, l'ensemble des modifications matérielles et de fonctionnement de l'installation Cabri présentées par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté sont acceptables.**

#### **5 - Chapitre descriptif du poste IRIS dans la mise à jour du rapport de sûreté**

La mise à jour du rapport de sûreté transmise par le CEA comporte une description du poste IRIS qui permet de réaliser des examens de tomographie X, de radiographie X et de spectrométrie gamma sur le crayon combustible d'essai. Sur le plan de la sûreté, le poste doit être conçu de sorte à constituer une protection radiologique pour le personnel et à assurer le rôle de première barrière de confinement des substances radioactives contenues dans le dispositif d'essai dans le cas d'un essai « rupté ». **L'IRSN considère que les éléments descriptifs présentés par le CEA sont suffisants et cohérents avec les analyses de sûreté relatives à l'utilisation de ce poste.**

L'IRSN note toutefois que la nature du gaz utilisé dans le procédé de refroidissement du poste de spectrométrie gamma est différente selon les chapitres du rapport de sûreté qui y font référence. En effet, dans les analyses des risques d'incendie et d'explosion, il est fait mention d'un mélange gazeux propane-éthane-méthane, alors que, dans le chapitre descriptif du poste IRIS, il s'agit d'hélium pur. **Le CEA devrait mettre à jour les analyses des risques d'incendie et d'explosion du rapport de sûreté en tenant compte de la nature du gaz effectivement utilisé dans le procédé de refroidissement du poste de spectrométrie. Ce point, qui fait l'objet de l'observation n°8 formulée en annexe 4 au présent avis, ne remet cependant pas en cause la sûreté du procédé de refroidissement du poste de spectrométrie gamma fonctionnant à base d'hélium pur.**

<sup>11</sup> Le CEA a installé un échangeur à air dans la zone des joints du dispositif d'essai afin de maîtriser leur température.

<sup>12</sup> Une fuite au niveau du système de joints d'étanchéité serait détectée par des capteurs de pression conduisant alors au déclenchement de l'arrêt d'urgence du réacteur.

## 6 - Conclusion de l'IRSN

En conclusion de son évaluation, l'IRSN considère que les éléments transmis par le CEA en réponse à ses engagements et aux demandes de l'ASN, dont le solde était identifié comme un préalable à la réalisation du premier essai expérimental actif de la BEP, sont satisfaisants. Cette conclusion s'appuie sur les conclusions de l'expertise des essais de commission menée par BEL V, qui a estimé que ces essais ont été correctement définis et réalisés, avec des résultats obtenus conformes aux attendus.

S'agissant de la mise à jour du rapport de sûreté et des règles générales d'exploitation transmise par le CEA, l'IRSN formule les observations en annexe 4 au présent avis, relatives à la prise en compte des demandes et engagements précités, ainsi qu'aux éléments de description du poste IRIS. Ces observations visent principalement à conforter la démonstration de sûreté dans le rapport de sûreté de l'installation Cabri.

Par ailleurs, dans le cadre de la présente instruction, le CEA a pris l'engagement formulé en annexe 3 au présent avis concernant la maîtrise des risques de criticité en cas de manutention du château X dans le bac annexe.

Enfin, l'IRSN estime que les modifications matérielles et de fonctionnement de l'installation Cabri présentées par le CEA dans la mise à jour du rapport de sûreté sont acceptables.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN/2017-00351 du 17 novembre 2017

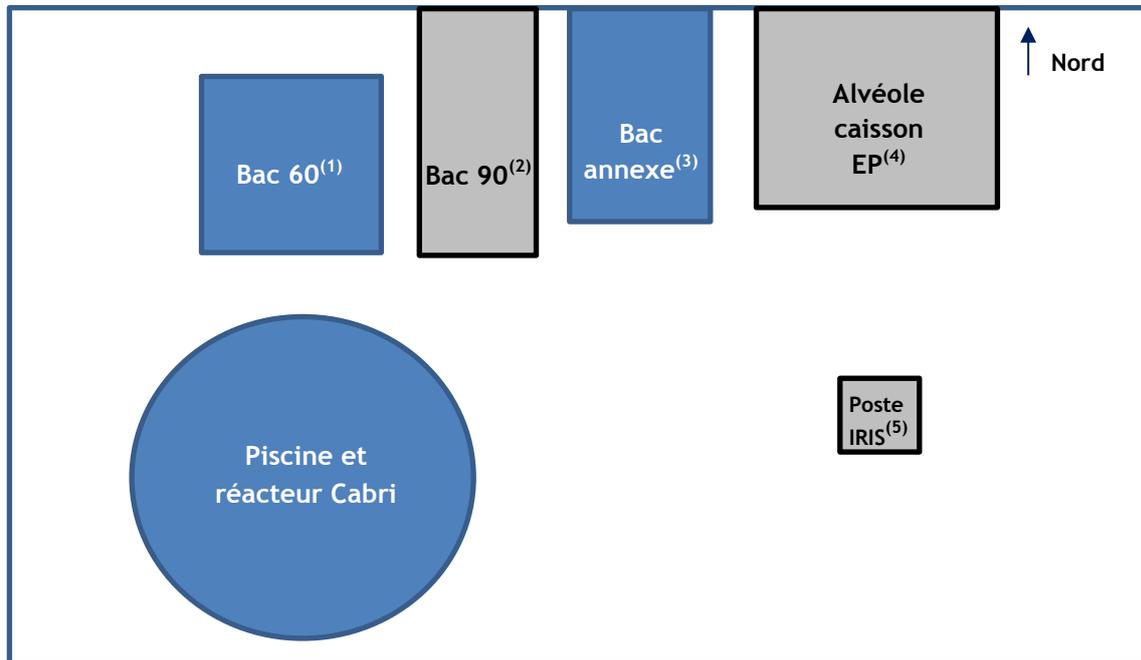


Figure 1 - Schéma du hall du réacteur (vue en plan)

- (1) : Le bac 60 est destiné à l'entreposage sous eau d'éléments et de matériels irradiants tels que des dispositifs d'essais.
- (2) : Le bac 90 sert à recueillir l'eau de la piscine Cabri et du bac 60 en cas de débordement accidentel de ces derniers. Il contient notamment le caisson du filtre EP qui fait partie du système de filtration des effluents de la BEP.
- (3) : Le bac annexe a notamment pour fonction l'entreposage sous eau des assemblages combustibles et des éléments réflecteurs du cœur Cabri.
- (4) : L'alvéole du caisson EP contient le caisson principal de la BEP dans lequel sont implantés les différents systèmes nécessaires au fonctionnement de la BEP (pompe, pressuriseur, échangeurs, etc.).
- (5) : Le poste IRIS permet de réaliser des examens non destructifs (tomographie X, radiographie X, spectrométrie gamma) sur le crayon combustible d'essai.

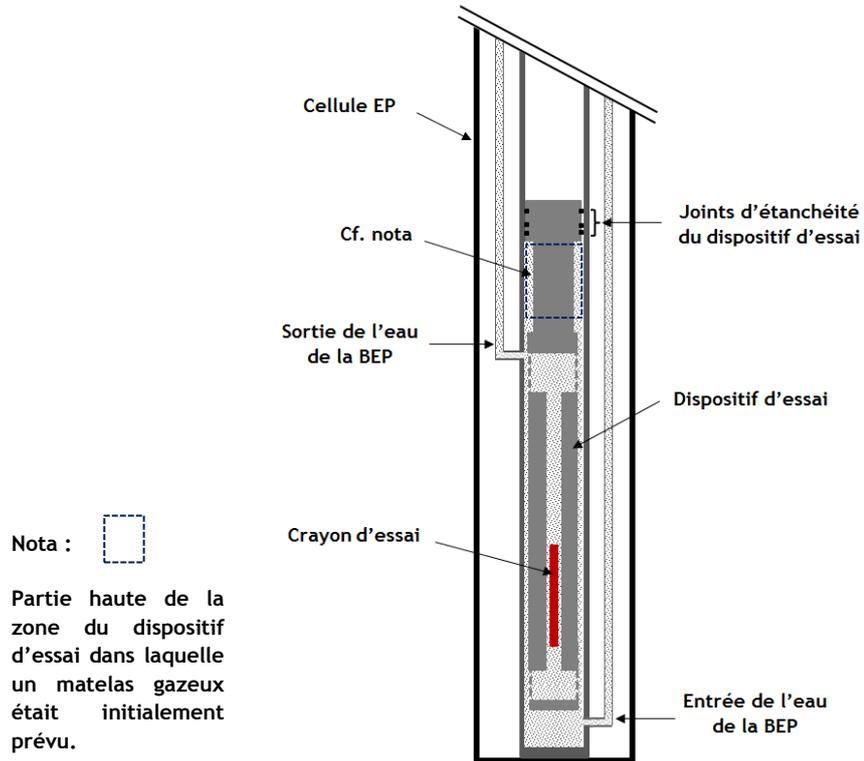


Figure 2 - Représentation schématique de la cellule EP

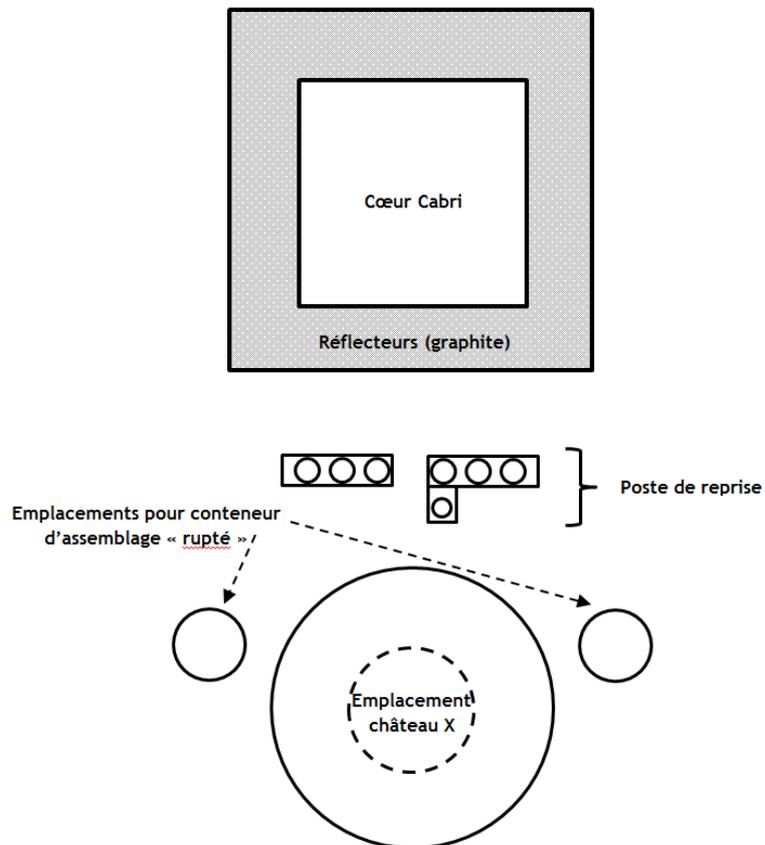


Figure 3 - Schéma de l'emplacement du poste de reprise

Annexe 2 à l'avis IRSN/2017-00351 du 17 novembre 2017

Demandes de l'ASN et engagements du CEA qui ont donné lieu à l'intégration d'éléments  
dans la mise à jour du rapport de sûreté et des règles générales d'exploitation

Demandes de l'ASN

Analyse des risques de criticité :

L'ASN vous demande de présenter l'analyse de la situation de chute d'un élément combustible sur le cœur en cours de rechargement, en particulier au cours des mouvements dans la piscine, dans la prochaine mise à jour du rapport de sûreté.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour interdire la manutention de panier de combustible dans le bac annexe en présence du château X sur son emplacement réservé au fond du bac.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour interdire la manutention du château X lorsque le poste de reconstruction d'assemblages est en place dans le bac annexe.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour préciser les dispositions de manutention de paniers d'assemblages combustibles du cœur dans le bac annexe afin de garantir l'absence de déformation des paniers en cas de chute.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour interdire la présence, au poste de reconstruction, d'assemblages dont le combustible est enrichi à plus de 6% en <sup>235</sup>U.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour interdire la manutention de la hotte de manutention des dispositifs d'essai lors des opérations de chargement/déchargement du cœur nourricier.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour mentionner la réalisation d'un double comptage du nombre d'assemblages au poste de reprise avant chaque nouvelle configuration du poste.

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour mettre en cohérence la RGE n°12.7 avec la RGE n°0 en intégrant les résines échangeuses d'ions dans la définition de « l'équivalent dispositif d'essai ».

L'ASN vous demande de modifier les RGE pour compléter le tableau présenté dans la RGE n°0.6.2 en mentionnant les dimensions des paniers du château X et la distance entre le râtelier d'entreposage tampon et le poste de reconstruction d'assemblages.

Lors de la prochaine mise à jour du rapport de sûreté, l'ASN vous demande de mettre à jour votre analyse de sûreté-criticité du poste de reprise en :

- considérant les conditions de modération conduisant à la réactivité maximale en cas de chute des assemblages ;
- étudiant le cas de la chute de conteneur pour les assemblages présentant des ruptures de gaine ;
- étudiant un éventuel dénoyage du poste de reprise, les arguments avancés par l'exploitant (présence d'un cuvelage de rétention) lui permettant d'exclure le dénoyage de l'entreposage étant remis en cause si l'on considère la chute du château X.

Lors de la prochaine mise à jour du rapport de sûreté, l'ASN vous demande de mettre à jour votre analyse de sûreté-criticité au fond du bac annexe en :

- démontrant qu'un entreposage de quatre assemblages présentant des ruptures de gaines dans le panier dédié ne présente pas de risque de criticité ;

- analysant la situation incidentelle de chute d'un assemblage à proximité du château X lors d'une manutention ou d'un rapprochement d'un assemblage au-dessus du château X pour chargement alors que celui-ci contient déjà trois assemblages (erreur humaine) ;
- analysant la situation incidentelle de chute d'un élément réflecteur sur l'entreposage ;
- corrigeant le mode de contrôle de la criticité pour les assemblages ruptés entreposés au fond du bac annexe.

Lors de la prochaine mise à jour du rapport de sûreté, l'ASN vous demande de définir une masse maximale admissible dans la hotte de manutention et dans le poste IRIS tenant compte des conditions de réflexion induites par les éléments de blindage (plomb, acier, béton) constituant ces équipements.

Lors de la prochaine mise à jour du rapport de sûreté, l'ASN vous demande d'étudier l'influence sur la réactivité d'un béton présentant une teneur en eau supérieure à 4% (la teneur en eau dans le béton retenue dans vos études de criticité est minimisée à 4% en masse. Or, cette teneur minimale ne conduit pas nécessairement à la valeur maximale de réactivité).

#### Caractéristiques neutroniques du cœur :

L'ASN vous demande de référencer, dans la prochaine mise à jour du rapport de sûreté, la note de calcul présentant la nouvelle évaluation du poids neutronique des six barres de commande présentée dans le cadre de l'instruction relative au rechargement du cœur.

#### Études de sûreté liées au cœur :

L'ASN vous demande de :

- réactualiser les études de tenue thermomécanique des crayons en détaillant de manière exhaustive les hypothèses considérées dans cette démonstration et en incluant l'effet de l'augmentation à 15 bars de la pression des barres transitoires sur l'énergie déposée au point chaud lors du pulse 10 ms ainsi que la prise en compte de l'incertitude sur l'enthalpie du combustible ;
- présenter de façon explicite une situation conservatrice pour ce qui concerne les températures atteintes par les pastilles de combustible.

Ces études seront ensuite reprises, si nécessaire, en fonction des résultats des essais de commission et avant la réalisation d'un premier essai du programme CIP-Q ; le chapitre concerné du rapport de sûreté (chapitre III du titre III du Volume III) sera mis à jour lors de la révision qui sera faite à l'issue des essais de commission.

Vous évalueriez, avant la réalisation des essais de commission en puissance, la capacité du code DULCINEE à prédire correctement l'évolution de la puissance moyenne du cœur nourricier lors des essais transitoires rapides de largeur à mi-hauteur 10 ms ainsi que lors de l'accident de surpuissance. Cette évaluation devra comprendre la justification des modèles et données utilisés. Elle devra couvrir des injections de réactivité correspondant à des dépressurisations des barres transitoires allant jusqu'à 15 bars. Vous présenterez à l'appui de votre évaluation une comparaison des puissances mesurées lors des essais passés et des puissances estimées par le code de calcul DULCINEE pour ces essais. À l'issue des essais de commission, cette évaluation sera reprise pour prendre en compte les résultats de ces essais.

Gestion des effluents de la BEP :

*Je vous demande de présenter, à l'occasion de la prochaine mise à jour du référentiel de sûreté prévu dans le cadre du premier essai réalisé avec la BEP, les justifications permettant de démontrer le respect des objectifs généraux de sûreté « public » et « personnel » pour les conditions de fonctionnement associées aux défaillances du circuit des effluents liquides de la boucle EP dans le hall du réacteur. Ces justifications présenteront notamment des données précises sur le volume d'effluents, le terme source ainsi que les hypothèses considérées pour l'évaluation de volumes de fuite, durées d'exposition dans les différents scénarios considérés.*

Engagements du CEA

Études de sûreté liées au cœur :

**Engagement 3.7.E2**

*L'exploitant s'engage, pour le système de séquençage indépendant, SSI, non classé de sûreté, à :*

- *justifier la valeur de la temporisation retenue à l'égard du risque d'accident de surpuissance, ainsi que la précision de la mesure de la temporisation effectuée avant chaque essai ;*
- *justifier que la temporisation retenue est garantie pour des augmentations de la tension d'alimentation allant jusqu'au seuil de détection de surtension qui interdit la réalisation de l'essai ;*
- *fournir les dispositions retenues pour s'assurer avant chaque essai du non-collage du relais.*

Gestion des effluents de la BEP :

**Engagement III-3.E30**

*L'exploitant s'engage à « mettre en place une deuxième barrière « temporaire » englobant le flexible ainsi que les raccords au camion-citerne et au bâtiment du réacteur, lors des opérations de dépotage d'effluents liquides. La solution technique retenue et les principes associés à une telle opération seront décrits dans le RPS.*

Prévention des risques de corrosion de la BEP :

**Engagement 3.5.E3**

*L'exploitant s'engage à se prononcer, avant la mise en service de la BEP, sur les risques de corrosion des jonctions hétérogènes de la BEP, pendant les périodes entre les expérimentations, avant l'inertage et après d'éventuelles décontaminations et que ces liaisons fassent l'objet d'un programme de contrôle.*

**Engagement 3.5.E5**

*L'exploitant s'engage à préciser, avant la mise en service de la BEP, la nature des solutions de décontamination utilisées et présente son analyse du risque de corrosion associé à l'emploi de ces solutions de décontamination.*

Facteurs organisationnels et humains :

**Engagement 3.11.E1**

*L'exploitant s'engage à transmettre, sous 6 mois, un programme comprenant les thèmes et les scénarios retenus dans le cadre des essais de commission pour analyser, sous l'angle des facteurs humains et organisationnels, les activités sensibles identifiées dans le rapport provisoire de sûreté.*

*L'exploitant s'engage également à transmettre, 6 mois à l'issue de ces observations, une synthèse des résultats de ce programme incluant notamment :*

- *le retour d'expérience ;*
- *l'identification, le cas échéant, des défaillances humaines potentielles pouvant survenir dans le cadre des activités sensibles et les mesures correctives envisagées.*

Annexe 3 à l'avis IRSN/2017-00351 du 17 novembre 2017

Engagement pris par le CEA lors de l'instruction

*Toute manutention du château X dans le bac annexe fera l'objet d'une demande d'autorisation auprès de l'ASN dans le cas où l'entreposage des éléments combustibles dans le bac ne respecterait pas les conditions suivantes :*

- *le nombre maximal de crayons combustibles  $UO_2$  d'enrichissement maximal en  $^{235}U$  égal à 6% dans un panier d'entreposage du bac annexe est de 45 ;*
- *la distance minimale bord à bord entre les alvéoles contenant des crayons combustibles d'enrichissement maximal en  $^{235}U$  égal à 6% ou entre ces alvéoles et celle contenant le précurseur<sup>13</sup> est de 70 cm dans l'intégralité du bac.*

---

<sup>13</sup> L'assemblage « précurseur » est composé de 9 crayons combustibles  $UO_2$  dont la teneur massique en  $^{235}U$  de l'uranium est de 8%. Il a servi à étudier le comportement des crayons combustibles du cœur Cabri, depuis le démarrage du réacteur jusqu'au début de l'année 1984.

Annexe 4 à l'avis IRSN/2017-00351 du 17 novembre 2017

Observations

Observation n° 1 :

Le CEA devrait préciser, dans le rapport de sûreté, la situation incidentelle de « chute d'assemblages entreposés sur le poste de reprise ou dans les emplacements pour assemblages ruptés » et justifier les hypothèses de réflexions neutroniques considérées dans l'étude de criticité associée.

Observation n° 2 :

Le CEA devrait présenter, dans le « tableau des unités de criticité » de la règle générale d'exploitation n°0 et du rapport de sûreté, la limite de masse de matière fissile (exprimée en masse d' $^{235}\text{U} + ^{241}\text{Am} + \text{Pu}$ ) qu'il retient pour le poste IRIS et la hotte de transfert, cette limite devant tenir compte de la réflexion apportée par les blindages radiologiques de ces équipements.

Observation n° 3 :

Le CEA devrait mettre à jour les études de sûreté du rapport de sûreté réalisées avec le chaînage DULCINEE - SCANAIR4C en tenant compte des valeurs des paramètres cinétiques et des facteurs de forme de puissance établies par la nouvelle étude neutronique de référence du cœur réalisée en 2016. Le CEA devrait en outre réévaluer le coefficient de contre-réaction Doppler en tenant compte de cette nouvelle étude neutronique et intégrer la nouvelle valeur obtenue dans les études de sûreté précitées.

Observation n° 4 :

Le CEA devrait mettre à jour le chapitre descriptif du rapport de sûreté dédié au circuit de dépotage des effluents liquides de la BEP et la règle générale d'exploitation n°17 afin de supprimer la mention de la mise en place d'une double enveloppe sur la partie fixe de la ligne de transfert des effluents liquides FA de la BEP et de préciser les critères de sélection de chacune des deux lignes de dépotage dédiées respectivement aux effluents MA/HA et aux effluents FA.

Observation n° 5 :

Le CEA devrait compléter les éléments présentés dans l'analyse des risques de dissémination des matières radioactives relative aux opérations de dépotage des effluents liquides de la BEP, figurant dans le rapport de sûreté, afin de présenter les dispositions de prévention, de surveillance et de limitation des conséquences prévues à chaque niveau de la défense en profondeur, de manière analogue à ce qui est présenté pour les autres types d'effluents de l'installation.

Observation n° 6 :

Le CEA devrait mettre à jour l'évaluation présentée dans le rapport de sûreté des conséquences radiologiques pour le personnel de l'accident de « petite brèche sur le circuit d'effluents liquides de la boucle EP (hors du caisson principal) » en tenant compte de l'activité maximale des actinides susceptibles de traverser le filtre EP et d'une dilution de l'activité mise en suspension dans un volume inférieur à celui du hall du réacteur.

**Observation n° 7 :**

Le CEA devrait mettre à jour l'évaluation présentée dans le rapport de sûreté des conséquences radiologiques à court, moyen et long termes, de l'accident de « *petite brèche sur le circuit d'effluents liquides de la boucle EP (hors du caisson principal)* » pour les personnes du public en limite de site et pour celles résidant à proximité de l'installation, en tenant compte de l'activité maximale des actinides susceptibles de traverser le filtre EP.

**Observation n° 8 :**

Le CEA devrait mettre à jour les analyses des risques d'incendie et d'explosion du rapport de sûreté en tenant compte de la nature du gaz utilisé dans le procédé de refroidissement du poste de spectrométrie gamma du poste IRIS.