



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 29 octobre 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00174

Objet : Site CEA de Cadarache - INB n° 24 / CABRI
Demande de modification du décret d'autorisation de création afin de réaliser des expérimentations d'irradiation de sous-ensembles électroniques

Réf. : Lettre ASN CODEP-DRC-2021-012495 du 9 mars 2021.

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier de demande d'autorisation de modification du décret autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) n° 24 dénommée CABRI, transmis en juillet 2020 par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Le CEA souhaite en effet mener des campagnes d'irradiation de matériels électroniques ; or, selon le DAC, le réacteur CABRI est uniquement destiné « à la réalisation de programmes de recherche dans le domaine de la sûreté portant sur le comportement de combustibles des réacteurs nucléaires à eau sous pression, notamment en situation incidentelle et accidentelle ».

1. CONTEXTE

L'INB n° 24, implantée sur le site du CEA de Cadarache, comprend principalement le réacteur CABRI, de type piscine. Elle permet de réaliser des essais sur des crayons combustibles placés dans une boucle expérimentale à eau sous pression (BEP), dans des conditions représentatives de celles susceptibles d'être rencontrées en situation accidentelle dans les réacteurs électrogènes à eau sous pression (REP). À ce jour, seuls des essais représentatifs de situations d'accidents d'insertion de réactivité (RIA¹) ont été menés dans le réacteur (notamment dans le cadre du programme CIP² en cours).

¹ RIA : Reactivity Initiated Accident.

² Le programme international Cabri (CIP) en cours de réalisation vise à étudier le comportement des crayons de combustible nucléaire soumis à un transitoire de puissance de type RIA, dans des conditions représentatives de celles susceptibles de survenir dans les REP.

MEMBRE DE
ETSON

Les nouvelles expérimentations que prévoit de réaliser le CEA consistent à irradier des matériels électroniques (appelés « sous-ensembles électroniques ») en les soumettant au flux neutronique généré par le cœur du réacteur CABRI lors de son fonctionnement en puissance.

En réponse à la demande de l'ASN citée en référence, l'expertise par l'IRSN des éléments transmis par le CEA à l'appui de sa demande d'autorisation de modification du DAC a porté sur les dispositions prévues par le CEA pour assurer la maîtrise :

- de la réactivité du cœur ;
- des risques liés à la manutention ;
- des risques d'exposition externe aux rayonnements ionisants ;
- des risques liés au séisme.

L'incidence de la modification sur l'analyse des incidents et accidents présentée dans le rapport de sûreté (RS) a également été examinée.

Le présent avis tient compte, d'une part des informations transmises par le CEA au cours de l'expertise, d'autre part des engagements pris par le CEA à l'issue de l'expertise. Il expose les principales conclusions de l'expertise de l'IRSN.

2. ÉQUIPEMENTS EXPÉRIMENTAUX NÉCESSAIRES AUX ESSAIS D'IRRADIATION

Implantée dans le « hall réacteur » du bâtiment principal de l'installation, la piscine remplie d'eau légère contient le bloc-pile constitué d'une boîte à eau inférieure (BAEI) ancrée en fond de piscine, d'une grille de maintien des éléments combustibles (EC) du cœur fixée sur la BAEI, de l'enveloppe du cœur et d'une boîte à eau supérieure (BAES) située au-dessus du cœur. Le cœur du réacteur CABRI (65 cm de côté, 80 cm de haut) est entouré d'éléments réflecteurs. Le cœur et les éléments réflecteurs sont entourés par une enveloppe d'aluminium de 40 mm d'épaisseur.

Lors des phases de chargement ou de déchargement du cœur, les EC sont entreposés temporairement dans un dispositif dit « poste de reprise » situé à proximité de l'enveloppe du cœur avant d'être respectivement insérés dans le cœur ou transférés hors de la piscine du réacteur. Le poste de reprise est constitué de deux secteurs comprenant chacun trois orifices pouvant accueillir le pied d'un EC en vue de son supportage.

S'agissant des nouvelles expérimentations prévues par le CEA, les sous-ensembles électroniques à irradier seront placés dans deux boîtiers étanches constitués d'aluminium. Chaque boîtier, rempli d'air et muni d'écrans de protection visant à atténuer certaines composantes du flux neutronique généré par le cœur, sera positionné dans la piscine du réacteur et plaqué contre l'enveloppe du cœur par l'intermédiaire d'un casier (également en aluminium) mis en place sur l'un des deux secteurs du poste de reprise. Les pieds de chaque casier, identiques à celui d'un EC, permettent de maintenir gravitairement les casiers en position verticale. Pour ce faire, les pieds de casier sont introduits dans l'orifice central de chacun des deux secteurs du poste de reprise.

L'ensemble constitué des deux boîtiers, des deux casiers et du poste de reprise constitue le poste d'irradiation.

Lors d'un essai CIP, un dispositif d'essai contenant le crayon combustible à tester est placé dans la partie de la BEP située au centre du cœur du réacteur.

La figure en annexe 1 au présent avis montre le positionnement des boîtiers et des casiers par rapport au cœur du réacteur.

3. CONDITIONS DE RÉALISATION DES ESSAIS D'IRRADIATION

Dans le cadre des essais d'irradiation, le CEA prévoit de soumettre les sous-ensembles électroniques :

- à des essais de type « pulse » (similaires à ceux mis en œuvre dans le cadre du programme CIP, mais sans crayon combustible dans la BEP) ;
- à des essais en régime stationnaire (fonctionnement du réacteur en régime permanent), à faible niveau de puissance du réacteur.

Les campagnes d'essais d'irradiation dureront quelques semaines par an sur une durée totale de quatre ans. Le CEA prévoit de réaliser ces campagnes d'irradiation en alternance avec les essais du programme CIP.

4. MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ DU CŒUR

Le CEA a évalué l'incidence sur la maîtrise de la réactivité du cœur de la présence des nouveaux équipements nécessaires aux essais d'irradiation, en calculant les paramètres neutroniques du cœur en présence des boîtiers et en leur absence. Cette étude montre que l'incidence de la présence des boîtiers sur ces paramètres est négligeable. Le CEA conclut ainsi que les dispositions de maîtrise de la réactivité présentées dans le RS en vigueur ne sont pas remises en cause par la présence des boîtiers et des casiers mis en place à proximité du cœur du réacteur. **Cette conclusion n'appelle pas de remarque. En effet, la présence des casiers, compte tenu de leur géométrie et de leur composition, n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions de l'étude susmentionnée, réalisée uniquement en considérant les boîtiers.**

5. MAÎTRISE DES RISQUES LIÉS AUX MANUTENTIONS

Concernant les risques liés aux manutentions des boîtiers et des casiers lors des opérations d'insertion de ces équipements dans la piscine du réacteur (ou lors des opérations de retrait de celle-ci), leur maîtrise repose essentiellement sur la réalisation de mouvements de faible amplitude amortis par l'eau de la piscine, sur la surveillance des opérations de manutention par une caméra immergée d'angle de vue réglable, ainsi que sur le « surdimensionnement » des différents équipements de levage employés (incluant les systèmes d'élingages³) à l'égard des charges manutentionnées. Le CEA précise en outre que le poids apparent des boîtiers et des casiers est réduit dans l'eau en raison de la poussée d'Archimède. **Ces points sont satisfaisants.**

L'IRSN souligne toutefois que le palan auxiliaire du pont roulant du hall réacteur, dont l'utilisation sera fréquente au cours du programme des essais d'irradiation, contribue à la prévention des risques de chute des boîtiers et des casiers et qu'une chute d'un boîtier (les boîtiers sont plus activés que les casiers) serait susceptible d'entraîner un risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants du personnel. **L'IRSN considère ainsi que le palan doit être classé comme élément important pour la protection. Ce point a fait l'objet de l'engagement n° 1 pris par le CEA à la fin de l'expertise et rappelé en annexe 2 au présent avis.**

³ Chaque boîtier est manutentionné par l'intermédiaire d'un double élingage constitué principalement de deux câbles en acier inoxydable. Chaque casier est manutentionné par l'intermédiaire d'une gaffe (tige en métal) vissée à un trou taraudé au niveau du centre de gravité du casier.

Par ailleurs, le CEA a précisé que la conduite à tenir en cas de chute d'un boîtier dans le hall réacteur consiste principalement en l'évacuation immédiate du personnel, **ce qui est satisfaisant**. Cependant, celle-ci n'est pas mentionnée dans le projet de mise à jour des règles générales d'exploitation (RGE) de l'INB n° 24 transmis par le CEA. **Ce point a fait l'objet de l'engagement n° 2 pris par le CEA à la fin de l'expertise et rappelé en annexe 2 au présent avis.**

6. MAÎTRISE DES RISQUES D'EXPOSITION EXTERNE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Les casiers, boîtiers et systèmes d'élingage des boîtiers seront présents dans l'environnement proche du cœur lors d'un essai d'irradiation. Afin d'évaluer les risques d'exposition externe aux rayonnements ionisants pour le personnel, le CEA a calculé l'activation sous flux neutronique de ces équipements qui seront extraits périodiquement de la piscine du réacteur. **L'IRSN considère que la méthode utilisée pour cette évaluation est satisfaisante. Par ailleurs, les résultats de calculs obtenus n'appellent pas de remarque.**

S'agissant des dispositions de maîtrise des risques d'exposition externe aux rayonnements ionisants pour le personnel, le CEA se fixe notamment une durée forfaitaire de refroidissement dans la piscine du réacteur, après irradiation des boîtiers et des casiers activés, afin de s'assurer que ceux-ci présentent un niveau d'activation compatible avec le zonage radiologique du hall réacteur avant d'être manutentionnés. **Ceci est satisfaisant**. En outre, le CEA réalisera une mesure de l'activation du boîtier ou du casier manutentionné avant retrait de la piscine. Cette étape de mesure étant importante pour la maîtrise de l'exposition externe du personnel lors de la manutention des boîtiers et des casiers, l'IRSN considère qu'elle doit être intégrée aux RGE de l'installation. **Ce point a fait l'objet de l'engagement n° 3 pris par le CEA à la fin de l'expertise et rappelé en annexe 2 au présent avis.**

Concernant l'évaluation prévisionnelle des doses qui seront reçues par les opérateurs, la méthode de calcul mise en œuvre et les hypothèses retenues par le CEA **n'appellent pas de remarque**. Les résultats obtenus mettent en évidence, pour l'ensemble des essais (stationnaires et pulsés), une dose collective annuelle de l'ordre de 16 H.mSv pour une douzaine de personnes et des doses individuelles annuelles aux extrémités de l'ordre de 8 mSv, ce qui reste très en deçà des limites réglementaires pour les personnes concernées. En outre, le CEA a indiqué lors de l'expertise qu'il vérifiera, au moyen notamment de contrôles réalisés par le service de protection contre les rayonnements, que les hypothèses structurantes retenues dans l'étude dosimétrique (en particulier les temps de refroidissement et d'intervention) sont respectées et que la dosimétrie réelle n'excède pas la dosimétrie prévisionnelle. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

7. MAÎTRISE DES RISQUES LIÉS AU SÉISME

7.1. COMPORTEMENT SISMIQUE DU BLOC-PILE EN PRÉSENCE DU POSTE D'IRRADIATION

Le CEA a étudié, au cours de l'expertise, le comportement dynamique du bloc-pile intégrant le poste d'irradiation, l'ensemble étant soumis au séisme de dimensionnement⁴ de l'installation. Les exigences de comportement sismique retenues par le CEA sont reconduites de celles définies dans le RS concernant le dimensionnement sismique du bloc-pile seul. Cette étude se fonde sur la modélisation numérique du bloc-pile

⁴ Le séisme de dimensionnement correspond à l'enveloppe du séisme majoré de sécurité (SMS) et du paléoséisme.

réalisée lors du réexamen périodique de l'installation de 2017 en y ajoutant la modélisation des deux secteurs du poste d'irradiation, chacun d'entre eux étant constitué d'un secteur du poste de reprise sur lequel sont montés un casier et un boîtier.

Les résultats obtenus sur la base de ce modèle numérique montrent que les contraintes mécaniques calculées au niveau du bloc-pile restent toujours inférieures aux contraintes admissibles. Cependant, bien que l'interaction entre l'eau de la piscine et le bloc-pile (« couplage fluide-structure ») ait été correctement modélisée par le CEA, ce dernier n'a pas considéré l'interaction entre l'eau de la piscine et le poste d'irradiation, le comportement sismique de ce dernier ayant été évalué « en air ». **Le poste d'irradiation étant immergé, l'IRSN considère que la masse du volume d'eau déplacé sous l'effet des mouvements du poste d'irradiation en cas de séisme doit être prise en compte dans l'évaluation du comportement sismique du bloc-pile, cette masse étant susceptible d'amplifier les déplacements relatifs entre le poste d'irradiation et les composants du bloc-pile.**

À cet égard, les deux secteurs du poste d'irradiation étant situés de part et d'autre de l'extrémité du canal d'irradiation sud⁵ équipant le réacteur (se reporter à la figure en annexe 1 au présent avis), **l'IRSN estime que des déplacements relatifs plus importants entre chaque secteur et le canal sont susceptibles d'induire une interaction mécanique entre les boîtiers (ou les casiers) et le canal d'irradiation sud (ou son renfort au niveau de l'enveloppe du cœur) et, par là-même, un risque d'endommagement des EC du cœur par transmission d'efforts *via* la structure du canal. Sur ce point, le CEA a pris l'engagement n° 4 consistant à justifier que les déplacements précités ne sont pas de nature à induire d'endommagement des EC du cœur, ce qui est satisfaisant. Cet engagement est rappelé en annexe 2 au présent avis.**

7.2. COMPORTEMENT DU POSTE D'IRRADIATION EN CAS DE SÉISME

Le CEA a étudié le comportement du poste d'irradiation en cas de séisme de dimensionnement, l'exigence retenue étant l'absence de missilité⁶ à l'égard du bloc-pile. Cette étude a fait l'objet d'une mise à jour, au cours de l'expertise, afin de tenir compte de spectres de séisme calculés au point de liaison du poste d'irradiation et de la BAEI. Établis sur la base des spectres sismiques de dimensionnement en fond de piscine présentés dans le RS et du modèle numérique du bloc-pile cité au paragraphe précédent, **les spectres sismiques établis par le CEA à la base du poste d'irradiation n'appellent pas de remarque.**

Les résultats obtenus par le CEA à partir d'une analyse en élasticité linéaire montrent que les critères mécaniques en élasticité retenus sont respectés pour tous les composants des boîtiers et des casiers sauf pour la platine inférieure du casier, le pied du casier et le poste de reprise. **Cette analyse n'appelle pas de remarque.**

Concernant les pièces pour lesquelles les critères mécaniques en élasticité linéaire sont dépassés, le CEA a réalisé, de manière usuelle pour ce type d'étude, une analyse en élastoplasticité. Les résultats obtenus par le CEA sur la base de cette analyse montrent notamment qu'une déformation plastique maximale de 11 % est atteinte au niveau de la platine inférieure du pied du casier, pour un critère à respecter de 12 % correspondant à la limite à rupture. De ces résultats, le CEA conclut que l'absence de missilité du poste d'irradiation est vérifiée. **Ceci appelle les remarques suivantes.**

⁵ Les canaux d'irradiation nord et sud sont constitués de deux boîtes étanches (remplies d'air) de quelques cm de largeur situés de part et d'autre de la BEP et traversant le cœur sur toute sa hauteur. Dans le cadre des essais RIA, le canal nord permet la mesure en temps réel des neutrons issus du combustible d'essai. La présence du canal sud vise à assurer une symétrie du cœur à l'égard de la maîtrise de la réactivité.

⁶ L'équipement ne doit pas devenir un projectile susceptible d'agresser le bloc-pile, c'est-à-dire qu'il doit rester sur ses supports et ne pas entrer en contact avec d'autres équipements situés dans son environnement proche.

Dans l'analyse en élastoplasticité, le comportement élastoplastique de l'alliage d'aluminium constitutif de ces pièces est modélisé, de manière simplifiée, par une loi bilinéaire. Pour l'IRSN, l'application d'une loi bilinéaire peut être admise quand la structure étudiée plastifie peu. Cependant, elle doit être particulièrement justifiée en cas d'apparition de déformations importantes pour un matériau dont la loi de comportement présente un plateau de déformation plastique avant rupture, ce qui est le cas de cet alliage. Aussi, pour la platine inférieure et le pied du casier, l'IRSN considère que le risque d'instabilité du poste d'irradiation ne peut pas être écarté et qu'une rupture de la structure du poste d'irradiation ne peut pas être exclue en cas de séisme. Pour l'IRSN, ceci n'est pas satisfaisant au regard de l'exigence d'absence de missilité retenue par le CEA pour le poste d'irradiation. **Sur ce point, le CEA a pris l'engagement n° 5 consistant à justifier le respect de l'exigence de non-missilité du poste d'irradiation sur la base d'une reprise de l'étude de son comportement sismique. Cet engagement est rappelé en annexe 2 au présent avis.**

S'agissant du poste de reprise, le niveau de déformation résultant de l'analyse en élastoplasticité est limité. En outre, le CEA notamment a justifié, sur la base de considérations géométriques, que le niveau de déformation atteint en cas de séisme n'était pas susceptible de remettre en cause le mode opératoire usuel de déchargement des EC du cœur utilisant le poste de reprise. **Ainsi, l'IRSN considère que le poste de reprise, qui pourrait potentiellement subir une légère déformation à la suite de l'occurrence d'un séisme, resterait fonctionnel pour que le déchargement du cœur du réacteur puisse être mis en œuvre.**

8. INCIDENCE DE LA MODIFICATION DU DAC SUR L'ANALYSE DES INCIDENTS ET ACCIDENTS PRÉSENTÉE DANS LE RAPPORT DE SURETÉ

Les justifications apportées par le CEA concernant l'absence d'incidence du programme d'irradiation sur l'analyse des situations incidentelles et accidentelles du RS **n'appellent pas de remarque**. Elles reposent notamment sur le fait que les essais d'irradiation sont réalisés sans dispositif expérimental dans la BEP.

En outre, le CEA a montré que le programme d'irradiation n'était pas susceptible de remettre en cause l'évaluation des conséquences radiologiques des accidents du RS. **Les éléments présentés par le CEA à ce sujet n'appellent pas de remarque.**

9. CONCLUSION

L'IRSN a examiné le dossier de demande d'autorisation de modification du DAC de l'INB n° 24 transmis par le CEA au titre de l'article R593-48 du code de l'environnement, celui-ci souhaitant pouvoir réaliser dans l'installation des essais d'irradiation de matériels électroniques non prévus par le DAC. De l'expertise menée, l'IRSN retient les points ci-après.

L'analyse des risques présentée par le CEA dans son dossier de juillet 2020, complétée au cours de l'expertise de l'IRSN, a permis de s'assurer que l'ensemble des risques liés à la mise en œuvre des essais d'irradiation et des nouveaux équipements associés (boîtiers, casiers) étaient maîtrisés, à l'exception des risques liés au séisme pour lesquels des analyses complémentaires restent à réaliser.

Ainsi, le CEA s'est engagé à reprendre les analyses sismiques réalisées afin de s'assurer, d'une part qu'une éventuelle interaction entre le poste d'irradiation et le bloc-pile ne serait pas de nature à induire des dommages aux éléments combustibles du cœur, d'autre part que l'exigence de non-missilité du poste

d'irradiation en cas de séisme serait bien respectée. Pour l'IRSN, la réalisation des engagements portant sur ces points constitue un préalable à la réalisation des essais d'irradiation.

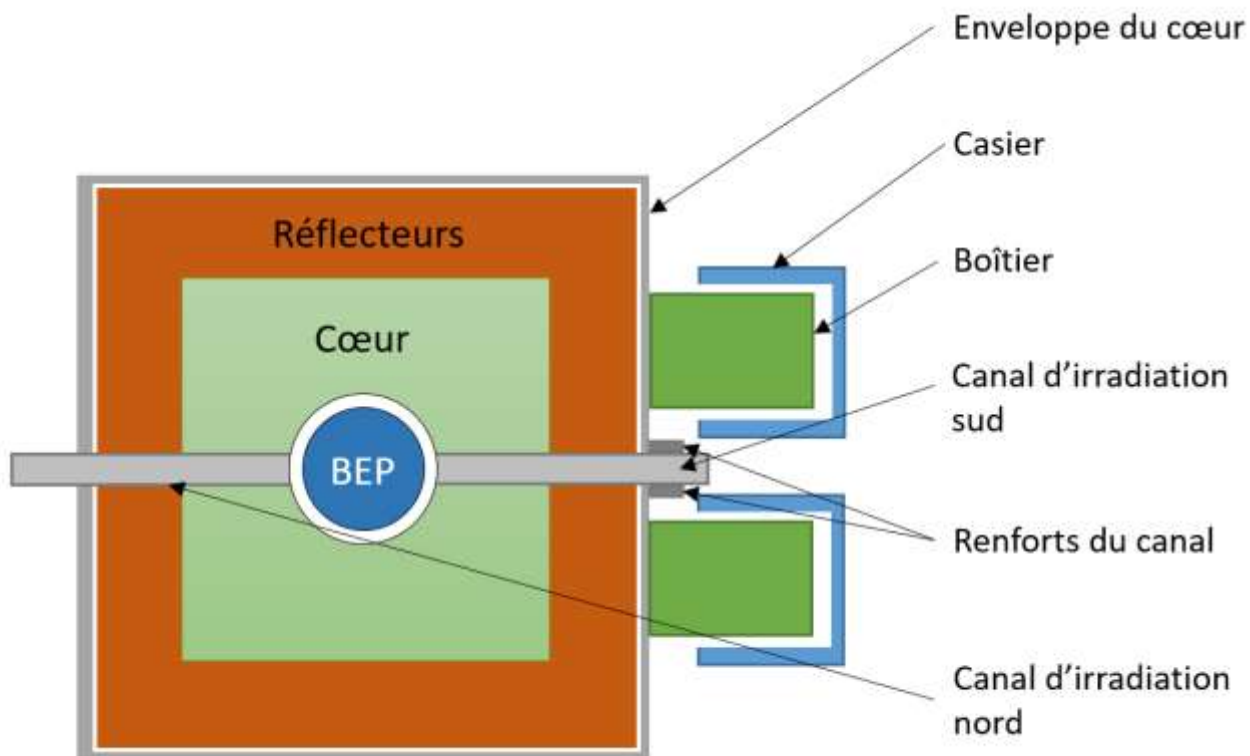
En conclusion, sous réserve de la mise en œuvre, dans les délais annoncés, des engagements pris à l'issue de l'expertise, l'IRSN considère que les dispositions de sûreté retenues par le CEA pour réaliser des essais d'irradiation dans l'INB n° 24 sont satisfaisantes.

IRSN

Le Directeur général
Par délégation
Frédérique PICHEREAU
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2021-00174 DU 29 OCTOBRE 2021

Vue de dessus du positionnement des boîtiers et des casiers à proximité du cœur du réacteur de l'INB n°24



ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2021-00174 DU 29 OCTOBRE 2021

Engagements du CEA

Engagement n° 1 :

Le CEA s'engage à classer le palan auxiliaire du pont roulant du hall réacteur en tant qu'élément important pour la protection et à lui attribuer des exigences définies en adéquation avec son rôle dans la démonstration de sûreté.

Échéance : lors de la transmission de la mise à jour du référentiel réalisée à la suite à la parution du nouveau décret

Engagement n° 2 :

Le CEA s'engage à préciser, dans les règles générales d'exploitation de l'INB n°24, la conduite à tenir en cas de chute d'un boîtier activé dans le hall réacteur.

Échéance : lors de la transmission de la mise à jour du référentiel réalisée à la suite à la parution du nouveau décret

Engagement n° 3 :

Le CEA s'engage à détailler, dans les règles générales d'exploitation de l'INB n° 24, l'étape de mesure de l'activation d'un boîtier ou d'un casier avant retrait de ces équipements de la piscine du réacteur.

Échéance : lors de la transmission de la mise à jour du référentiel réalisée à la suite à la parution du nouveau décret

Engagement n° 4 :

Le CEA s'engage à justifier que les déplacements des deux secteurs du poste d'irradiation en cas de séisme ne sont pas de nature à induire des dommages aux éléments combustibles du cœur.

Échéance : 30/04/2022

Engagement n° 5 :

Le CEA s'engage à démontrer le respect de l'exigence de non-missilité assignée au poste d'irradiation en justifiant, sur la base d'une reprise de l'étude du comportement sismique du poste d'irradiation, l'absence de risque d'instabilité plastique au niveau de la platine inférieure et du pied du casier en cas de séisme.

Échéance : 30/04/2022