

Fontenay-aux-Roses, le 12 mai 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2016-00154

Objet : CEA/Cadarache
RAPSODIE-LDAC (INB n°25)
Évaluation complémentaire de sûreté - Scénario d'une réaction sodium-eau induite par des pluies survenant à la suite d'un séisme ayant entraîné la ruine des bâtiments

Réf. : Lettre ASN CODEP-DRC-2015-050707 du 22 décembre 2015

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'IRSN sur les éléments transmis par le CEA en réponse à l'objectif prioritaire de réalisation (OPR) n°8 pris à l'issue de l'examen de l'évaluation complémentaire de sûreté de l'installation nucléaire de base (INB) n°25. L'OPR n°8 porte sur l'évaluation des conséquences radiologiques et chimiques liées à une réaction sodium-eau induite par des pluies survenant à la suite d'un séisme « extrême »¹ ayant entraîné la ruine des bâtiments, ainsi que sur la justification des hypothèses retenues.

L'ASN demande en particulier à l'IRSN d'examiner :

- l'évaluation des conséquences de l'accident retenu sur l'environnement et le public ;
- l'acceptabilité de l'absence de définition d'éléments clés qui pourraient constituer un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles renforcées.

De l'examen du dossier transmis par le CEA, complété des éléments recueillis au cours de l'instruction, l'IRSN retient les principaux points développés ci-après.

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

Contexte

L'INB n°25, implantée sur le site CEA de Cadarache, abrite le réacteur Rapsodie (réacteur expérimental à neutrons rapides et refroidi au sodium), le laboratoire de découpe et d'examen après irradiation des assemblages combustibles (LDAC) et le laboratoire de neutronographie, arrêtés respectivement en 1983, 1997 et 1992.

Des opérations de mise à l'arrêt définitif de l'installation ont été menées à partir de mai 1985 et interrompues le 31 mars 1994 à la suite de l'accident survenu lors du nettoyage d'une cuve contenant

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

¹ Le séisme « extrême » est un séisme d'intensité supérieure à celle du séisme majoré de sécurité (SMS) retenu pour le site de Cadarache.

des résidus de sodium dans le bâtiment réacteur. À la suite de cet accident, divers travaux de réhabilitation, de démontage et d'assainissement ont été réalisés. L'installation, actuellement partiellement assainie, est sous surveillance dans l'attente de son démantèlement. En décembre 2014, le CEA a transmis un dossier de demande d'autorisation de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement (MAD-DEM) de l'INB n°25. L'instruction de ce dossier (réalisée conjointement avec celle du dossier de réexamen de sûreté de l'INB transmis en mai 2015) est suspendue dans l'attente d'éléments complémentaires.

Compte tenu des opérations déjà réalisées, l'activité résiduelle dans l'installation et les enjeux radiologiques associés, liés essentiellement à la présence de près de 24 tonnes de sodium contaminé sous la forme métallique (massive ou en dépôt surfacique) ou sous la forme d'un mélange de métal et d'oxyde appelé MESOS, se situent principalement dans la cuve du réacteur et dans le bâtiment d'entreposage des objets contenant du sodium contaminé, dénommés « objets sodés ». Ces objets sont constitués notamment de réservoirs d'entreposage de sodium primaire (environ 0,2 t) et de sodium secondaire (22 t), de pièges froids contenant du sodium primaire (0,8 t), de pièges à césium, ainsi que de divers matériels (conditionnés dans des conteneurs dénommés CEA/U) provenant du démontage de circuits contaminés par du sodium.

Compte tenu du dimensionnement insuffisant à l'égard du séisme du bâtiment d'entreposage des objets sodés, ces derniers font l'objet d'une prescription particulière dans le chapitre 0 des règles générales d'exploitation (RGE) de l'INB n°25. Celle-ci précise une échéance d'évacuation de ces objets de l'installation au plus tard avant la fin de l'année 2018.

Scénario étudié par le CEA

Le scénario accidentel retenu par le CEA dans l'évaluation complémentaire de sûreté de l'INB n°25, conduisant aux conséquences les plus importantes, est un séisme extrême associé à un épisode pluvieux. Dans la mesure où la stabilité des bâtiments de l'INB n'est pas assurée dans le cas d'un tel séisme, il est considéré que celui-ci provoque la chute de parties constitutives des bâtiments (bardage métallique, éléments de structure en béton, pont roulant...) et, en cascade, la perte du confinement de la cuve du réacteur et des objets sodés. L'arrivée d'eau au contact du sodium entraîne son hydrolyse en surface avec la formation de soude et la libération d'hydrogène, de contaminants contenus dans le sodium (^{137}Cs , ^{22}Na , tritium...) et d'énergie.

Le CEA a réalisé une évaluation des rejets associés à ce scénario en retenant les hypothèses suivantes :

- l'absence d'implication de certains objets sodés jugés plus robustes ou ne possédant pas de singularité susceptible de permettre l'infiltration de la pluie dans la capacité (les conteneurs CEA/U, les pièges froids primaires, les réservoirs contenant du sodium primaire) ;
- l'inflammation, au contact de la pluie, de la totalité des MESOS contenus dans la cuve du réacteur et dans les objets sodés considérés impliqués dans le scénario avec un rejet dans l'environnement de 1 % de la soude formée, ainsi que de 100 % du tritium, 1 % du césium et 0,1 % du cobalt, du strontium et des émetteurs alpha contenus dans les MESOS ;
- une réaction très limitée de la pluie avec le sodium sous forme métallique contenu dans la cuve et les objets sodés considérés impliqués dans le scénario, qui ne conduit ni à l'inflammation du

sodium métallique, ni au rejet d'aérosols ; l'inventaire sous forme de sodium métallique et l'activité associée sont donc négligés.

Le CEA estime les dommages causés par le séisme sur la base d'un jugement d'experts. Il retient ainsi que la chute d'éléments de structure sur la cuve du réacteur ou les objets sodés pourra conduire à leur endommagement et, au niveau de leurs zones de fragilité, à la création de brèches. Il considère en revanche que certains objets ne présenteront pas de brèche compte tenu de :

- leur robustesse liée à l'absence de zone de vide dans ces objets et aux caractéristiques de leur enveloppe de confinement (cas des pièges à césium entreposés dans un conteneur CEA/U et des pièges froids primaires) ;
- l'écrasement de leurs zones de fragilité (tubulures/piquages) empêchant l'arrivée d'eau (cas des réservoirs contenant du sodium primaire).

Pour la réaction entre le sodium métallique et l'eau, le CEA considère que la soude produite à la surface du sodium va cristalliser du fait de sa forte concentration (le débit d'eau s'infiltrant dans les capacités contenant du sodium métallique étant supposé faible par le CEA) et va former un écran entre le sodium et l'eau, empêchant la poursuite de la réaction. Par ailleurs, le CEA estime que le débit d'eau limité conduira également à une libération d'énergie insuffisante pour initier une combustion et la fusion du sodium sous forme métallique. Cette démonstration repose sur une mise en contact de l'eau sur le sodium au goutte-à-goutte. Enfin, le CEA ne retient pas le risque d'explosion lié à la formation d'hydrogène dans la mesure où celui-ci s'évacuerait des capacités par la brèche permettant à l'eau de s'infiltrer. Il exclut ainsi le rejet d'aérosols hors des équipements à partir du sodium métallique.

Sur la base du rejet estimé à partir de ces hypothèses, le CEA détermine des conséquences faibles tant radiologiques (inférieures à 1 mSv à court et moyen termes en limite de site et à long terme à Saint-Paul-lez-Durance) que chimiques (de l'ordre du dixième du seuil des effets irréversibles en limite de site et de l'ordre du millième de ce seuil à Saint-Paul-lez-Durance). En conséquence, le CEA ne définit pas d'éléments clés qui pourraient constituer un noyau dur.

Avis de l'IRSN

L'IRSN considère que le scénario retenu par le CEA présente un certain nombre d'incertitudes.

- La dégradation, à la suite d'un séisme extrême, de certains objets sodés est difficile à écarter compte tenu de l'absence d'étude détaillée sur les dommages qui seraient causés par un effondrement des éléments de structure des bâtiments. Certains de ces objets présentant un inventaire radiologique important, l'hypothèse de leur perforation dans le scénario étudié modifierait significativement le niveau des conséquences radiologiques évaluées par le CEA.
- Le CEA retient une brèche de 0,2 m² soumise directement à la pluie pour déterminer le débit d'eau pénétrant dans les capacités. Le débit d'eau pouvant entrer en contact avec le sodium pourrait être supérieur, pour certaines capacités, à celui retenu par le CEA compte-tenu des incertitudes liées à la configuration de l'installation après un séisme (présence et répartition des gravats, zones de collecte des eaux de pluie et voies d'écoulement de ces eaux...). Or un débit d'eau plus important atteignant le sodium métallique pourrait remettre en cause l'hypothèse de la

formation d'une couche de soude cristallisée empêchant la poursuite de la réaction de l'eau avec le sodium métallique, ainsi que celle de l'absence d'inflammation du sodium métallique.

- Le CEA retient une valeur de 1 % pour la remise en suspension du sodium et du césium, valeur indiquée dans le rapport de sûreté de l'installation Phénix comme généralement retenue pour la réaction sodium-eau. Toutefois, pour l'installation Phénix, le CEA a finalement retenu, par conservatisme, une valeur de 10 %. Cette valeur de 10 % a également été retenue par EDF pour l'installation Superphénix. Aussi, l'IRSN estime qu'une valeur de 10 % aurait également dû être retenue pour la réaction sodium-eau sans inflammation dans le cas de l'installation Rapsodie. En tout état de cause, en cas d'inflammation du sodium, ce coefficient sera supérieur à 10 % pour la fraction de sodium concernée.

Compte tenu de la multiplicité des phénomènes physiques et chimiques mis en jeu, il est difficile d'estimer une quantité réaliste de sodium impliquée dans la réaction et les rejets dans l'environnement.

Il apparaît toutefois que la majorité du sodium et de l'activité associée présente dans l'installation Rapsodie est contenue dans les objets sodés devant être évacués de l'installation d'ici fin 2018. Au-delà de cette date, du sodium restera uniquement présent dans la cuve du réacteur. À cet égard, au regard des conséquences d'une réaction sodium-eau dans la cuve du réacteur et des commentaires formulés ci-avant, l'IRSN souligne que :

- la masse totale de sodium présent dans la cuve ne dépasse que de 25 % la masse de MESOS retenue par le CEA pour l'évaluation des conséquences chimiques liées à des réactions sodium-eau pour l'ensemble de l'installation ;
- l'activité du sodium présent dans la cuve sous forme de MESOS correspond au terme source retenu par le CEA pour l'évaluation des conséquences radiologiques liées à des réactions sodium-eau pour l'ensemble de l'installation ;
- l'activité du sodium métallique présent dans la cuve s'élève à environ un dixième de l'activité des MESOS présents dans cette cuve.

Aussi, l'IRSN estime qu'en retenant un coefficient de mise en suspension du césium de 1 %, les conséquences d'une réaction sodium-eau dans la cuve du réacteur à la suite d'un séisme extrême (risque résiduel après évacuation des objets sodés prévue d'ici la fin de l'année 2018) devraient être du même ordre de grandeur que celles évaluées par le CEA pour l'ensemble de l'installation dans le dossier transmis. En retenant une valeur de 10 % pour le coefficient de mise en suspension du césium, comme préconisé ci-avant, les conséquences radiologiques ne seraient pas inacceptables pour le public.

Dans l'attente de l'évacuation des objets sodés, l'IRSN estime que, comme indiqué précédemment, un scénario plus sévère que celui retenu par le CEA, impliquant au moins l'un de ces objets, ne peut pas être exclu. Certains de ces objets contenant une masse de sodium (réservoirs de sodium secondaire) ou une activité (pièges froids primaires) nettement supérieure aux quantités impliquées dans la réaction sodium-eau retenues dans le scénario du CEA, les conséquences d'un tel scénario plus sévère seraient significativement plus importantes que celles évaluées dans le dossier transmis par le CEA pour l'ensemble de l'installation. À titre d'exemple, l'IRSN a réalisé une évaluation des conséquences de l'endommagement d'un piège froid primaire avec une réaction impliquant la totalité du sodium

présent dans le piège et une mise en suspension de 10 % du césium. Les conséquences radiologiques à long terme obtenues par l'IRSN dans ce cas seraient de l'ordre de 65 mSv à Saint-Paul-lez-Durance. De même, en considérant un débit d'eau plus important atteignant un réservoir d'entreposage de sodium secondaire contenant de l'ordre de 11 t de sodium métallique, les conséquences chimiques pourraient être significativement plus importantes que celles estimées par le CEA.

Aussi, l'IRSN estime indispensable le respect des échéances fixées pour l'évacuation des objets sodés dans les RGE en vigueur (d'ici fin 2016 et 2018). Dans ces conditions, l'IRSN estime acceptable que le CEA ne définisse pas, pour l'installation Rapsodie, d'éléments clés qui pourraient constituer un noyau dur.

Toutefois, l'IRSN souligne, d'une part les retards déjà observés sur l'évacuation des pièges froids (échéance précédemment fixée à 2013), d'autre part la potentielle difficulté liée à l'obtention des agréments de transport nécessaires à leur évacuation vers le site de Marcoule (du fait de leur inventaire radiologique, de leurs dimensions et de leur masse), difficulté potentielle déjà soulignée en novembre 2013. **En conséquence, l'IRSN considère que, dans le cas où le CEA ne serait pas en mesure de respecter l'échéance actuellement retenue pour l'évacuation de ces pièges, des dispositions de protection de ces derniers à l'égard d'une agression par des éléments de structure en cas de séisme devront être mises en œuvre.** Une recommandation est formulée en ce sens en annexe au présent avis.

Enfin, l'IRSN est d'accord sur le fait que, compte tenu de l'état endommagé de l'installation après un séisme, une explosion d'hydrogène de grande ampleur peut être écartée (pas d'accumulation d'une grande quantité d'hydrogène). Toutefois, l'IRSN estime souhaitable que le CEA tienne compte de la présence possible de poches localisées d'un mélange de gaz explosif lors des interventions qu'il aurait à effectuer sur l'installation après un tel événement. Ce point fait l'objet de l'observation en annexe au présent avis.

Conclusion

En conclusion, l'IRSN estime que les éléments apportés par CEA ne permettent pas de justifier l'ensemble des hypothèses retenues dans son évaluation des conséquences, dans l'état actuel de l'installation, associées au scénario d'une réaction sodium-eau induite par des pluies survenant à la suite d'un séisme extrême ayant entraîné la ruine des bâtiments.

Compte tenu des échéances annoncées par le CEA pour l'évacuation des différents objets sodés de l'INB n° 25, les quantités de sodium et l'activité associée devraient fortement diminuer jusqu'à fin 2018. Après l'évacuation de ces objets, les conséquences sur l'environnement liées au scénario étudié ne seraient pas inacceptables. Aussi, l'IRSN estime acceptable que le CEA ne définisse pas d'éléments clés qui pourraient constituer un noyau dur de dispositions matérielles et organisationnelles renforcées.

En revanche, dans le cas où l'échéance de 2018 pour l'évacuation des pièges froids primaires, qui représentent 75 % de l'activité en césium actuellement présente dans l'installation, ne serait pas respectée, l'IRSN recommande (cf. annexe au présent avis) que le CEA mette en œuvre des dispositions de protection de ces pièges à l'égard d'une agression, en cas de séisme, par des éléments de structure.

Par ailleurs, une observation relative à l'intervention dans l'installation en cas de pluie après un séisme extrême est également formulée en annexe au présent avis.

Compte tenu du dimensionnement initial des bâtiments et des conséquences de l'accident de 1994, l'IRSN estime que les conclusions du présent avis s'appliquent également aux cas de séismes de niveau inférieur (séisme majoré de sécurité voire séisme maximal historiquement vraisemblable) à un séisme extrême.

Pour le Directeur général et par délégation,

Jean-Michel FRISON

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Recommandation

L'IRSN recommande que, dans le cas où l'échéance de 2018 pour l'évacuation des pièges froids primaires ne serait pas respectée, le CEA mette en œuvre des dispositions de protection de ces pièges à l'égard d'une agression, en cas de séisme, par des éléments de structure.

Observation

Le CEA devrait tenir compte, pour les éventuelles interventions dans l'installation en cas de pluie après un séisme ayant conduit à une dégradation importante des bâtiments, de la présence possible de poches localisées d'un mélange de gaz explosif.