

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS**  
**POUR LES REACTEURS NUCLEAIRES**

**AVIS RELATIF AU DEUXIEME LOT DE L'INSTRUCTION  
ANTICIPEE DE LA DEMANDE DE MISE EN SERVICE DU  
REACTEUR JULES HOROWITZ (CONTROLE-COMMANDE,  
ACCIDENT A CARACTERE EXPLOSIF DE TYPE BORAX,  
QUALIFICATION DES PLAQUES COMBUSTIBLES ET SURETE-  
CRITICITE)**

Réunion tenue à Montrouge le 2 juillet 2026

## I

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), notifiée par la lettre CODEP-DRC-2025-009248 du 10 mars 2025, le groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) s'est réuni le 2 juillet 2026 pour examiner le dossier transmis par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), relatif au deuxième lot de l'instruction anticipée de la demande de mise en service du réacteur Jules Horowitz (RJH). Ce dossier concerne :

- le contrôle-commande ;
- l'accident grave maîtrisé (AGM) BORAX ;
- la qualification des plaques combustibles ;
- la sûreté-criticité.

Au cours de cette réunion, le groupe permanent a pris connaissance des conclusions de l'examen réalisé par la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR du dossier transmis par le CEA, des éléments complémentaires recueillis au cours de cet examen et des engagements pris par le CEA dans ce cadre.

## II

Le groupe permanent a, conformément à la saisine précitée, examiné :

- *« les dispositions de conception du contrôle-commande de l'installation (architecture générale, indépendance entre systèmes, conformité des systèmes classés de niveau A à leurs exigences et pour ceux à base de logiciels, leur conformité à la RFS [II-4-1-a du 15 mai 2000 relative aux logiciels des systèmes électriques classés de sûreté] ;*
- *les conclusions de l'étude de l'AGM BORAX présentées par le CEA en Conf. 3.2 pour ce qui concerne en particulier la caractérisation de l'initiateur de l'accident et les conséquences sur les équipements mécaniques et le génie civil du bloc-eau, [ainsi que] l'absence de mise en place, par le CEA, d'absorbeurs de chocs en piscine RER ;*
- *les dispositions mises en œuvre par le CEA pour la qualification des plaques combustibles afin de garantir le respect des exigences de sûreté qui leur sont assignées en situations normale, incidentelles et accidentelles (conditions de fonctionnement 1 à 4), en tenant compte du taux de combustion maximal prévu pour l'exploitation du RJH ;*
- *la démonstration de la maîtrise du risque de criticité dans l'INB (milieux fissiles de référence, modes de contrôle retenus, unités de criticité, etc.). »*

### III

#### **Contrôle-commande**

Le contrôle-commande du réacteur RJH comporte deux principaux ensembles distincts qui sont dédiés, l'un au réacteur, appelé contrôle-commande centralisé, l'autre aux dispositifs expérimentaux placés dans le réacteur dans le cadre des programmes de recherche menés. Le groupe permanent relève que les éléments relatifs au contrôle-commande des dispositifs expérimentaux n'ont pas été transmis à l'ASNR à ce stade.

Le groupe permanent note que le système de contrôle-commande de sauvegarde du réacteur et les systèmes dédiés aux actions de prévention et à la surveillance des fonctions et équipements classés sont des systèmes classés au titre de la sûreté. En revanche, les systèmes de contrôle-commande utilisés pour la conduite normale du réacteur sont non classés. Il relève à cet égard que les systèmes de contrôle-commande non classés sont reliés par des réseaux informatiques à des systèmes classés. Le CEA n'a, à ce stade, pas apporté les éléments justifiant l'absence de perturbation des systèmes classés par le contrôle-commande non classé, mais s'est engagé à compléter son analyse en ce sens.

Le groupe permanent note l'absence de système dédié à la diversification du contrôle-commande de sauvegarde en cas de défaillance de mode commun affectant ce dernier. Il estime que le CEA devra apporter les éléments de justification de l'indépendance suffisante des systèmes normaux utilisés pour assurer cette diversification.

Les systèmes de contrôle-commande non classés sont constitués d'automates programmables dont la défaillance pourrait dégrader la gestion des situations accidentelles du fait d'un pilotage erroné des actionneurs non classés. Le groupe permanent souligne qu'il est important que le CEA justifie les dispositions prévues à cet égard.

En l'absence de ces éléments, le groupe permanent ne peut pas se prononcer à ce stade sur l'architecture du contrôle-commande centralisé du réacteur RJH.

Par ailleurs, le groupe permanent considère que l'architecture de la chaîne d'acquisition et de traitement des informations du système de contrôle-commande de sauvegarde du réacteur, selon trois files redondantes, est satisfaisante, de même que sa logique d'actionnement, sous réserve de compléments de justification concernant les agressions internes. Il estime en outre que la technologie utilisée pour ce système respecte les principes de conception et les méthodes de développement requis pour un tel système. Le groupe permanent note cependant que certains éléments du dimensionnement de ce système nécessitent des compléments de justification (capacité mémoire, capacité de calcul, configuration des cartes).

Concernant le développement des logiciels de ce système de contrôle-commande de sauvegarde, le groupe permanent note que le CEA s'est engagé à mettre en œuvre un programme spécifique de surveillance du fournisseur des logiciels et à réaliser un audit de l'ensemble du cycle de développement des logiciels. Le groupe permanent considère cet engagement satisfaisant.

Enfin, concernant les appareils numériques à fonctionnalité limitée (ANFL) dont la conception ne répond pas aux normes de l'industrie nucléaire, le groupe permanent estime satisfaisant l'engagement pris par le CEA de consolider la démarche de fiabilisation mise en œuvre à leur égard et d'analyser les conséquences d'une défaillance de cause commune pouvant les affecter.

## **Accident grave maîtrisé BORAX**

Pour l'accident grave maîtrisé (AGM)<sup>1</sup> BORAX, qui est notamment retenu pour dimensionner la piscine du réacteur RJH, le CEA a considéré un scénario d'éjection d'un élément absorbant assurant le contrôle de la réactivité du cœur, caractérisé par une insertion importante de réactivité sur une durée, dénommée « temps d'envol », de 300 ms. Il en retient un apport d'énergie évalué à 95 MJ, composé de 35 MJ provenant de la partie supposée fondue du cœur et de 60 MJ provenant de l'interaction entre l'alliage sodium-potassium (NaK) des dispositifs expérimentaux et l'eau du circuit primaire. Sur cette base, il a défini le chargement mécanique dit « de référence » à considérer pour le dimensionnement des structures de génie civil et des équipements du réacteur.

### **Fréquence d'occurrence d'éjection d'un élément absorbant**

Le CEA a réalisé une étude de fiabilité visant à quantifier la fréquence annuelle d'occurrence de l'éjection d'un élément absorbant. Il évalue cette fréquence à  $2.10^{-7}$  pour les scénarios pour lesquels le temps d'envol est supérieur ou égal à 300 ms, et à  $5.10^{-8}$  pour les scénarios pour lesquels le temps d'envol est inférieur à 300 ms, ce qui est cohérent avec les objectifs probabilistes qu'il s'est fixés pour les accidents de type AGM et AGE.

Le groupe permanent considère que la démarche mise en œuvre par le CEA est satisfaisante dans le principe, mais que l'étude réalisée présente des incertitudes. Il estime que cette étude nécessite d'être complétée, notamment par une évaluation de la fiabilité humaine des opérations de montage et de manutention des éléments absorbants ainsi que par une évaluation des risques liés à la présence éventuelle de corps migrants dans le circuit primaire du réacteur. De plus, il estime que le CEA devra réviser son étude de fiabilité pour tenir compte de la conception finale des éléments absorbants.

### **Énergie déposée dans le combustible fondu**

Pour l'évaluation de l'énergie déposée dans le combustible fondu résultant du transitoire de puissance initié par l'éjection d'un élément absorbant, le CEA s'est appuyé sur un outil de calcul scientifique (OCS) dont les modèles neutroniques et thermohydrauliques ont dû être adaptés afin de pouvoir modéliser un transitoire d'insertion de réactivité à cinétique rapide. Le groupe permanent relève que cet outil prédit une fusion significative du cœur pour le scénario étudié d'AGM BORAX, fusion limitée par la chute des éléments absorbants non éjectés.

Le groupe permanent considère que l'évaluation réalisée par le CEA est entachée d'une forte incertitude, du fait des nombreux phénomènes mis en jeu et du niveau de connaissance limité associé à certains d'entre eux. En tout état de cause, il estime que l'OCS utilisé par le CEA ne permet pas d'évaluer l'énergie déposée dans le combustible fondu dès lors qu'une fusion significative des gaines intervient, pouvant mettre en cause la capacité des éléments absorbants à limiter le transitoire de puissance.

---

<sup>1</sup> Les accidents graves sont des accidents postulés ou scénarisés pouvant conduire à une dégradation sévère du combustible. Le CEA distingue deux catégories : les accidents graves dits « maîtrisés » (AGM) par des dispositions de conception et ceux « éliminés en pratique » (accidents graves exclus - AGE) par des dispositions spécifiques de conception et d'exploitation. Les critères retenus par le CEA pour l'AGM et l'AGE sont des fréquences annuelles d'occurrence respectivement inférieures à  $10^{-6}$  et  $10^{-7}$ .

Plus globalement, le groupe permanent considère que les verrous de modélisation identifiés dans le cadre de l'utilisation de l'OCS précité ne pourront pas être levés par des travaux de recherche à moyen terme et qu'il convient donc que le CEA recherche une conception finale des éléments absorbants qui permette de maximiser le temps d'envol à retenir pour l'AGM BORAX. Le groupe permanent souligne en outre l'importance que ce paramètre soit déterminé avec un haut niveau de confiance. Il estime à cet égard que, pour atteindre cet objectif, la réalisation d'essais hydrauliques représentatifs des scénarios d'éjection d'un élément absorbant dans sa conception finale est à privilégier.

### **Chargement mécanique**

Pour évaluer le chargement mécanique, le CEA utilise une version d'un OCS spécifiquement développée pour évaluer le chargement en pression appliqué aux parois de la piscine du réacteur RJH, résultant à la fois de l'explosion de vapeur due à l'interaction entre le combustible fondu et l'eau du circuit primaire et de la réaction chimique entre l'eau du circuit primaire et le NaK issu de la destruction des dispositifs expérimentaux présents dans le cœur du réacteur.

Le groupe permanent relève l'absence de validation de cette version de l'OCS pour la configuration de l'accident BORAX et constate en outre que l'exploitation de résultats d'essais réalisés postérieurement à l'étude présentée par le CEA montre que la modélisation des transferts thermiques n'est pas adaptée.

Le groupe permanent estime par ailleurs que, en l'état des connaissances concernant la réaction NaK-eau et compte tenu de la validation insuffisante de l'OCS utilisé, l'impact de cette réaction sur le chargement en pression résultant d'un accident BORAX reste à justifier.

Au vu de ce qui précède, le groupe permanent considère que les éléments présentés par le CEA ne permettent pas de montrer que le chargement mécanique de référence qu'il a retenu pour le dimensionnement des structures et équipements du réacteur RJH est enveloppe du chargement mécanique qui serait induit par l'accident BORAX. Pour autant, le dimensionnement qu'il a réalisé sur la base de ce chargement mécanique de référence apparaît globalement robuste. Le groupe permanent relève toutefois qu'une partie des équipements ainsi dimensionnés présente très peu de marge et que, pour certains d'entre eux, le CEA valorise de faibles zones de plastification. De plus, le groupe permanent relève que le CEA n'a finalement pas retenu la mise en place d'absorbeurs de choc en piscine. La pertinence de ce choix dépendra de la justification du chargement mécanique à retenir.

### **Conclusion**

Après examen, le groupe permanent retient que la justification de la tenue des structures de génie civil et des équipements mécaniques des piscines du bâtiment du réacteur RJH à l'AGM BORAX n'est pas apportée à ce stade du dossier.

Dans le cadre de l'instruction du dossier, le CEA s'est engagé à démontrer que l'éjection d'un élément absorbant ne conduirait pas à une fusion significative du cœur, en se basant notamment sur une réévaluation robuste du temps d'envol d'un élément absorbant dans sa conception finale. Le groupe permanent considère cet engagement acceptable, mais attire l'attention sur les difficultés de justification associées. Il considère que le CEA devra également examiner la possibilité de limiter la quantité de NaK présente dans le réacteur.

Le groupe permanent souligne qu'il est particulièrement important que le temps d'envol retenu pour les éléments absorbants dans leur conception finale soit maximisé et déterminé avec un haut niveau de confiance et considère que, pour atteindre cet objectif, la réalisation d'essais hydrauliques représentatifs des scénarios d'éjection d'un élément absorbant dans sa conception finale est à privilégier. En outre, il estime nécessaire que le CEA conforte le caractère exclu des scénarios d'éjection d'un élément absorbant menant à des temps d'envol plus faibles que celui qui sera finalement retenu. Il devra également présenter une analyse des AGM qui n'avaient pas été étudiés précédemment du fait du caractère considéré alors enveloppe de l'AGM BORAX.

### **Qualification des plaques combustibles**

Le CEA a justifié le bon comportement des plaques combustibles dans le réacteur RJH sur la base de résultats issus de plusieurs programmes d'essais menés sur des éléments combustibles représentatifs. Ces essais ont été complétés par des calculs thermomécaniques visant à démontrer le respect des exigences assignées aux plaques combustibles. Le CEA prévoit de mettre en œuvre un programme de surveillance des éléments combustibles du réacteur RJH durant son fonctionnement afin de disposer de données de qualification complémentaires. Il s'est aussi engagé à compléter les éléments relatifs à la compréhension des phénomènes d'oxydation à haute température du gainage en alliage d'aluminium en fonctionnement normal et à justifier la pertinence des critères relatifs à la première barrière. Le groupe permanent juge ces éléments satisfaisants.

Concernant le comportement des plaques combustibles en situations incidentelles et accidentelles, le CEA s'est engagé à justifier l'absence de formation de blisters<sup>2</sup> en bordures supérieure et inférieure de l'insert boré de la plaque combustible. Le groupe permanent considère cet engagement satisfaisant.

Pour les dommages susceptibles de se produire en situations incidentelles et accidentelles, les analyses présentées par le CEA pour démontrer l'absence de flambage thermique de la gaine et de fissuration à la suite d'un assèchement local n'appellent pas de remarque du groupe permanent. Par ailleurs, pour l'étude des autres dommages dont les déformations de gaine et le comportement en fatigue, le CEA s'est appuyé sur une démarche issue du code RCC-MX. Bien que ce code n'ait pas été développé pour l'étude du comportement de plaques combustibles, le groupe permanent estime que les justifications complémentaires apportées par le CEA, portant sur les coefficients de sécurité, les propriétés mécaniques de la gaine et le respect des limites admissibles en irradiation, permettent de justifier son utilisation. Enfin, le groupe permanent estime satisfaisant l'engagement pris par le CEA de vérifier que les phénomènes de déformation progressive et de fatigue-fluage n'ont pas d'incidence sur l'intégrité des plaques combustibles en situations incidentelles.

Le groupe permanent considère que les éléments présentés par le CEA pour justifier la qualification des codes de calcul utilisés pour l'étude du comportement des plaques combustibles en situations incidentelles et accidentelles ne répondent pas à l'ensemble des préconisations du guide n° 28 de l'ASN relatif à la qualification des OCS pour la première barrière, mais note que le CEA prévoit d'apporter des compléments à ce sujet, ce qui est satisfaisant dans le principe.

---

<sup>2</sup> Décohésion entre l'âme et la gaine, sous l'effet de la diffusion et de l'agglomération de produits de fission gazeux à leur interface, susceptible de conduire à une perte d'intégrité de la plaque combustible et *in fine* de la gaine.

Enfin, le groupe permanent estime satisfaisante la démarche mise en œuvre par le CEA pour déterminer le taux de combustion maximal à retenir pour l'exploitation des éléments combustibles du réacteur RJH.

### **Sûreté-criticité**

Le groupe permanent considère que les principes et les données de base de la démonstration de sûreté-criticité présentée par le CEA pour le réacteur RJH sont dans l'ensemble satisfaisants. En particulier, les critères d'admissibilité en situations normale, incidentelles et accidentelles ainsi que la qualification des schémas de calcul utilisés n'appellent pas de remarque. Le groupe permanent note toutefois que certaines hypothèses retenues par le CEA dans les études de criticité restent à valider.

Les milieux fissiles de référence retenus par le CEA pour les éléments combustibles intègres et endommagés n'appellent pas de remarque du groupe permanent, le comportement de ces éléments combustibles en cas de chute restant toutefois à valider. À cet égard, le CEA prévoit de réaliser des essais de chute depuis des hauteurs représentatives des configurations susceptibles d'être rencontrées dans l'installation, complétés par des calculs pour prendre en compte l'évolution sous irradiation des propriétés mécaniques des matériaux des éléments combustibles, ce que le groupe permanent estime satisfaisant.

Enfin, le groupe permanent estime également satisfaisant l'engagement du CEA de redéfinir des milieux fissiles de référence pour les cibles de molybdène de fission, les échantillons et les déchets, en conformité avec les milieux retenus dans les calculs de criticité.

## **IV**

### **Conclusion générale**

Le groupe permanent considère que les éléments présentés par le CEA pour le réacteur RJH concernant les plaques combustibles et les risques de criticité sont satisfaisants à ce stade du dossier compte tenu des engagements pris. Il note toutefois que des analyses restent à conforter.

S'agissant du contrôle commande du réacteur RJH, qui n'est pas complètement finalisé, le groupe permanent ne peut pas se prononcer sur son architecture en l'état des éléments transmis par le CEA. Des éléments restent en effet à conforter, concernant notamment l'indépendance des systèmes qui le composent au regard des redondances requises.

Pour ce qui concerne l'AGM BORAX, le groupe permanent souligne l'importance de l'enjeu de sûreté qui lui est associé et le caractère insatisfaisant de la démonstration de sûreté actuelle du réacteur RJH à l'égard de cet accident. Il considère que l'engagement du CEA, qui vise à démontrer que l'éjection d'un élément absorbant ne conduirait pas à une fusion significative du cœur, est acceptable, mais attire l'attention sur les difficultés de justification associées. Eu égard à l'importance du sujet, il estime nécessaire que le dossier révisé que produira le CEA soit soumis à l'examen du groupe permanent en amont de la demande de mise en service du réacteur.

**Membres du GPR ayant participé à la rédaction de l'avis**

M. CHARLES Président  
M. SIDANER Vice-président

M. BIGOT  
Mme CADET-MERCIER  
M. CORNU  
M. COURTIN  
M. DE L'EPINOIS  
Mme DEGEYE  
M. DEVOS  
M. FRANCARD  
M. MBONJO  
M. MENAGE  
M. NEDELEC  
M. NICAISE  
Mme PICHEREAU  
M. RAYMOND  
M. ROCHWERGER  
M. SEKRI  
Mme TOMBUYES  
M. VITTON