

Monsieur le Directeur de la Direction des réacteurs innovants

Fontenay-aux-Roses, le 2 février 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00015 DU 02 FÉVRIER 2026

Objet : CALOGENA – Projet de réacteur CAL-30 - Démarche de diversification pour les systèmes assurant la maîtrise de la réactivité du réacteur en situations incidentelles et accidentelles.

Références : [1] Saisine ASNR - CODEP-DRI-2025-028912 du 5 mai 2025.
[2] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.
[3] Guide ASN n° 22 : Conception des réacteurs à eau sous pression.

Dans le cadre du développement de son projet de réacteur nucléaire calogène, appelé CAL-30, la société CALOGENA a sollicité l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) sur l'approche mise en œuvre, au stade des options de sûreté, pour la diversification du système d'arrêt du réacteur.

Dans ce contexte, par la lettre citée en première référence, la Direction des réacteurs innovants de l'ASNR a sollicité l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR sur la démarche de diversification des systèmes assurant la maîtrise de la réactivité du réacteur CAL-30 en situations incidentelles et accidentelles proposée par la société CALOGENA, ainsi que sur la compatibilité de cette démarche avec l'objectif de fiabilité défini à l'article 3.1¹ de l'arrêté cité en deuxième référence.

De l'évaluation des documents transmis et tenant compte des compléments apportés par la société CALOGENA au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux éléments suivants.

1. DESCRIPTION DU PROJET DE RÉACTEUR

1.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONCEPTION DU RÉACTEUR CAL-30

D'une puissance nominale de 30 MWth, le réacteur CAL-30 est un petit réacteur modulaire à eau légère fonctionnant à basse pression et basse température, conçu pour fournir de la chaleur à des réseaux de chaleur urbains (RCU).

Installée dans une piscine d'eau légère, la chaudière nucléaire est notamment composée de la cuve du réacteur, de son couvercle et de l'échangeur de chaleur primaire/secondaire. Le cœur du réacteur, d'un volume de l'ordre du mètre cube, est situé en partie basse de la cuve. Les assemblages combustibles (AC) le constituant sont d'une technologie similaire à celle utilisée dans les réacteurs à eau sous pression (REP), mais de hauteur plus petite (de l'ordre du mètre).

¹ L'article 3.1 de l'arrêté [2] mentionne à son alinéa II que : « La mise en œuvre du principe de défense en profondeur s'appuie notamment sur : [...] »

- l'identification des fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire ;

- une démarche de conception prudente, intégrant des marges de dimensionnement et recourant, en tant que de besoin, à une redondance, une diversification et une séparation physique adéquates des éléments importants pour la protection qui assurent des fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire, pour obtenir un haut niveau de fiabilité et garantir les fonctions citées à l'alinéa précédent [...] ».

Le refroidissement du cœur repose sur la circulation naturelle de l'eau primaire pour toutes les situations du réacteur (fonctionnement normal, incidents et accidents) : l'eau chauffée par le cœur s'élève dans une colonne de grande hauteur, appelée cheminée centrale, puis redescend au travers de l'échangeur primaire/secondaire implanté autour de la cheminée pour retourner dans le cœur.

1.2. SYSTÈMES DE MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ EN SITUATIONS INCIDENTELLES ET ACCIDENTELLES

La maîtrise de la réactivité du réacteur CAL-30 en situations incidentelles et accidentelles repose sur l'insertion automatique de grappes de crayons d'absorbants neutroniques dans le cœur, ces dernières étant réparties en un groupe de régulation et deux groupes d'arrêt. Le réacteur est équipé de deux systèmes d'arrêt d'urgence (AU), le premier, appelé « système d'AU principal », provoquant la chute gravitaire des grappes du groupe de régulation et de l'un des groupes d'arrêt, le second, appelé « système d'AU diversifié », provoquant la chute gravitaire de l'autre groupe d'arrêt. En outre, l'activation de l'un des systèmes entraîne la chute des grappes activée par l'autre système (option retenue à ce stade par la société CALOGENA).

De technologie similaire à celle mise en œuvre dans les REP mais avec une hauteur de crayons plus courte, les grappes de crayons absorbants de chaque système d'AU sont prolongées en partie haute par des tiges de commande, chacune composée d'une partie supérieure, appelée « barre de contrôle », et d'une partie inférieure de grande hauteur, appelée « tige prolongatrice », reliant la barre de contrôle à la grappe. La tige de commande et la grappe de crayons absorbants constituent l'équipage mobile. Les barres de contrôle sont manœuvrées par des mécanismes de commande implantés au niveau du couvercle de cuve et comportant un système de déplacement de la barre de contrôle ainsi qu'un dispositif de déverrouillage de cette dernière. Les tiges prolongatrices sont guidées par une structure métallique munie de grilles positionnée dans la cheminée. Cette structure est appelée « interne supérieur ». Les crayons absorbants coulisent dans les tubes guides des AC.

Chaque système d'AU comprend une instrumentation et un contrôle-commande ainsi qu'un système de coupure de l'alimentation électrique des mécanismes de commande. L'ordre d'AU émis par le contrôle-commande sur franchissement de seuils sur les paramètres physiques mesurés provoque la coupure de cette alimentation, ce qui induit l'ouverture du dispositif de déverrouillage des barres de contrôle et la chute gravitaire des équipages mobiles.

S'agissant de la démonstration de sûreté, le système d'AU principal est valorisé dans les études de sûreté des situations relevant du domaine de conception de référence. Le système d'AU diversifié est, quant à lui, conçu pour pallier l'échec du système d'AU principal lors de transitoires nécessitant l'activation de ce dernier : il est valorisé dans le domaine de conception étendu². Ces deux systèmes doivent permettre d'amener et de maintenir le réacteur CAL-30 dans un état sûr notamment caractérisé par un état sous-critique pérenne.

2. DÉMARCHE DE DIVERSIFICATION POUR LES SYSTÈMES D'ARRÊT D'URGENCE DU RÉACTEUR

2.1. DOSSIER DÉPOSÉ PAR LA SOCIÉTÉ CALOGENA

L'arrêt du réacteur provoqué par chaque système d'AU repose sur un principe identique, à savoir l'insertion d'absorbants neutroniques solides dans le cœur par chute gravitaire de grappes de crayons absorbants.

La démarche de diversification retenue par la société CALOGENA pour les systèmes d'AU du réacteur consiste tout d'abord à doter le système d'AU diversifié d'une instrumentation et d'un contrôle-commande distincts de ceux du système d'AU principal. S'agissant de l'instrumentation, la démarche se fonde sur la mesure de paramètres physiques différents. En outre, la diversification des systèmes de contrôle-commande des deux systèmes d'AU repose sur le choix de technologies et/ou de fournisseurs différents.

La diversification concerne également les mécanismes de commande de chaque système d'AU, leur conception étant différente. S'agissant de l'alimentation électrique associée, chaque mécanisme dispose de sa propre boucle

² Le domaine de conception étendu désigne l'ensemble des situations, retenues pour la conception d'une installation nucléaire, plus sévères que celles considérées dans le domaine de conception de référence. Il recouvre notamment les situations résultant de défaillances multiples.

de courant. Le choix d'une diversification du matériel utilisé par chaque système d'AU pour couper l'alimentation électrique des mécanismes (disjoncteurs notamment) n'est pas arrêté à ce stade.

La société CALOGENA ne prévoit pas de diversifier les équipages mobiles et leurs structures de guidage (interne supérieur et tubes guides des AC). Elle identifie la déformation mécanique importante des structures dans lesquelles les grappes et les tiges de commande coulisent comme seul risque de mode commun susceptible d'empêcher la chute des grappes des deux systèmes d'AU. La démarche de prévention de ce risque repose sur la démonstration de la capacité des grappes à chuter lors ou après la survenue d'un séisme extrême, ce niveau d'agression étant considéré majorant au regard des déformations susceptibles d'être engendrées par une explosion d'origine externe et la chute d'un avion.

2.2. ANALYSE DE LA DIRECTION DE L'EXPERTISE EN SÛRETÉ

La Direction de l'expertise en sûreté présente successivement son évaluation :

- des options de conception nécessaires à l'obtention d'un haut niveau de fiabilité pour la fonction d'AU du réacteur CAL-30 ;
- de la démarche de diversification des systèmes d'AU du réacteur CAL-30 ;
- des risques de mode commun induits par l'absence de diversification des équipages mobiles et des structures de guidage associées ;
- des enjeux associés à la défaillance de chute de grappes par mode commun.

2.2.1. Options de conception nécessaires à l'obtention d'un haut niveau de fiabilité pour la fonction d'AU

La Direction de l'expertise en sûreté rappelle que, au regard de l'importance pour la sûreté du système d'AU principal, un haut niveau de fiabilité doit être visé pour ce système et que, à ce titre, la conception de ce système doit intégrer suffisamment de redondances et de diversifications. Sur ce point, à partir des informations transmises par la société CALOGENA, elle constate que les paramètres mesurés pouvant conduire à solliciter l'AU principal, même s'ils ne sont pas encore précisément définis, seront *a priori* relativement nombreux. En outre, elle note que le réacteur CAL-30 dispose d'autant de grappes que d'AC, que la chute du seul groupe d'arrêt sollicité par le système d'AU diversifié doit permettre l'arrêt du réacteur, et que l'ordre d'AU émis par le système d'AU principal provoque aussi la chute des grappes du système d'AU diversifié, **ce qui est satisfaisant. La Direction de l'expertise en sûreté considère toutefois que les redondances, voire les éventuelles diversifications, au niveau des dispositifs de coupure de l'alimentation électrique des mécanismes de commande du système d'AU principal devront être explicitées et justifiées par la société CALOGENA.**

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté considère que le système d'AU principal doit être doté d'exigences de conception, de réalisation et de suivi en exploitation visant à garantir une fiabilité intrinsèque élevée à chaque composant. Sur ce point, **elle estime que la démarche mise en œuvre par la société CALOGENA, consistant à attribuer le plus haut niveau de classement de sûreté au système d'AU principal, est satisfaisante.**

Enfin, la Direction de l'expertise en sûreté note que les composants des mécanismes de commande du système d'AU diversifié (système de déplacement de la barre de contrôle et dispositif de déverrouillage) seront dotés des mêmes exigences de qualité de conception et de réalisation que celles retenues pour les composants idoines du système d'AU principal, **ce qui est satisfaisant.**

En tout état de cause, pour la Direction de l'expertise en sûreté, l'ensemble de ces éléments participera à démontrer l'obtention du haut niveau de fiabilité attendu pour la fonction d'arrêt du réacteur.

2.2.2. Démarche de diversification des systèmes d'AU

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que le choix de conception de la société CALOGENA de retenir deux systèmes d'arrêt à cinétique d'action rapide rend la conception de ces systèmes plus sensible aux risques de défaillance de cause commune comparativement à une diversification fonctionnelle³.

La société CALOGENA a retenu de diversifier l'instrumentation et le contrôle-commande, les mécanismes de commande ainsi que, potentiellement, les systèmes de coupure de leur alimentation électrique, en se fondant sur des technologies et/ou des fournisseurs différents. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que ces principes contribuent à l'indépendance entre les deux systèmes d'AU et souligne l'effort de diversification matérielle des mécanismes de commande. Elle considère toutefois que la société CALOGENA devra justifier l'absence de diversification des dispositifs de coupure de l'alimentation électrique entre les mécanismes de commande des deux systèmes d'AU, si cette option était *in fine* retenue.**

La Direction de l'expertise en sûreté souligne toutefois que la société CALOGENA a fait le choix de ne pas diversifier les équipages mobiles des deux systèmes d'AU et les structures de guidage associées. **La Direction de l'expertise en sûreté note ainsi que la conception des systèmes d'arrêt du réacteur CAL-30 ne répond pas à la recommandation figurant dans l'article 6.1.2 du guide de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) cité en troisième référence (i.e. « l'arrêt du réacteur doit être assuré par deux moyens indépendants et diversifiés »).**

2.2.3. Risques de mode commun induits par l'absence de diversification des équipages mobiles

L'absence de diversification des équipages mobiles et du guidage associé entre les deux systèmes d'AU a conduit la société CALOGENA à s'interroger sur les risques de défaillances de mode commun susceptibles d'affecter ces composants identiques et d'empêcher *in fine* la chute des grappes.

S'agissant du risque de blocage mécanique des grappes en cas d'agression externe susceptible d'engendrer une déformation mécanique importante des structures de guidage des équipages mobiles (séisme, explosion d'origine externe, chute d'avion), la Direction de l'expertise en sûreté note que le caractère majorant du séisme extrême sera vérifié dans une phase ultérieure du projet. La démarche de prévention de ce risque repose sur la démonstration du maintien de la capacité des grappes à chuter lors de la survenue ou après un séisme, y compris extrême, ce dernier étant pris égal, au stade de la conception, à 1,5 fois le séisme de dimensionnement. Au cours de l'expertise, la société CALOGENA a précisé que les composants mécaniques des systèmes d'AU seront dimensionnés de façon à garantir le respect de cette exigence et que des essais de chute de grappes seront réalisés avec un désalignement des structures de guidage pour tenir compte de l'effet du séisme extrême. **La Direction de l'expertise en sûreté considère que ces principes sont satisfaisants.**

Afin de justifier l'absence de risque de mode commun pour les situations ne relevant pas des agressions externes précitées, la société CALOGENA souligne que, comparativement à la conception des réacteurs à eau sous pression, la conception du réacteur CAL-30 avec, d'une part une hauteur limitée du cœur, d'autre part des efforts hydrauliques faibles au sein de la cuve du fait de la circulation naturelle du caloporteur primaire, est favorable à l'égard de la prévention des risques de blocage des grappes dans ces situations. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.** Par ailleurs, la société CALOGENA précise que la circulation lente et ascendante de l'eau primaire permet de concevoir l'interne supérieur avec un nombre limité de grilles de guidage. La définition de la tolérance de guidage au niveau des grilles fera l'objet d'une étude ultérieure. **Compte tenu du principe de guidage retenu, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la société CALOGENA devra analyser les risques de désaxage des tiges de commande par rapport à la verticale lors de la chute de l'équipage mobile, la position du centre de gravité de ce dernier (à mi-hauteur environ) étant, pour la Direction de l'expertise en sûreté, susceptible d'induire des risques de frottements excessifs voire de blocage au sein du canal de chute.**

³ Par diversification de nature fonctionnelle, on entend ici une diversification consistant à la mise en œuvre de principes physiques ou de modes opératoires différents pour remplir une fonction donnée.

2.2.4. Enjeux associés à la défaillance de chute de grappes par mode commun

Afin d'apprécier les enjeux de sûreté, la Direction de l'expertise en sûreté a demandé à la société CALOGENA, au cours de l'expertise, de fournir des éléments permettant d'apprécier les conséquences de la défaillance de la chute de toutes les grappes. La société CALOGENA a alors transmis des éléments visant à justifier l'existence d'un délai significatif avant que le refroidissement du cœur du réacteur ne soit compromis. Dans le cas où l'échec de la chute des grappes proviendrait de défaillances des systèmes de contrôle-commande ou des dispositifs de coupure de l'alimentation électrique des mécanismes, elle a alors précisé que des actions en local pourraient être menées dans ce délai en vue de provoquer la chute des grappes par coupure forcée de l'alimentation électrique des mécanismes. **L'ensemble de ces éléments préliminaires devra être confirmé et conforté dans la version préliminaire du rapport de sûreté (VPRS).**

En tout état de cause, la Direction de l'expertise en sûreté souligne que les éléments présentés ne traitent que partiellement les défaillances de mode commun de blocage multiple de grappes. Or, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'une spécificité du réacteur CAL-30, à savoir la grande hauteur des tiges de commande, associée à l'absence de diversification des équipages mobiles et du guidage, ne permet pas d'avoir l'assurance que les risques de défaillance de mode commun de blocage multiple de grappes appartenant indifféremment aux groupes de régulation ou d'arrêt sont exclus. De ce fait, un moyen d'arrêt du réacteur pourrait s'avérer nécessaire en cas de blocage multiple de grappes afin d'assurer l'atteinte et le maintien d'un état sûr sous-critique.

La Direction de l'expertise en sûreté considère que, le projet de réacteur CAL-30 étant au stade de la conception, une façon simple et robuste d'assurer, avec un haut niveau de fiabilité, la fonction de sûreté liée à la maîtrise de la réactivité, est de mettre en œuvre un moyen complémentaire aux dispositions prévues pour la fonction d'AU et fonctionnellement diversifié. Ainsi la Direction de l'expertise en sûreté recommande que, afin d'assurer, avec un haut niveau de fiabilité, la fonction de sûreté liée à la maîtrise de la réactivité, la société CALOGENA prévoie un moyen complémentaire aux dispositions prévues pour la fonction d'arrêt d'urgence, qui soit fonctionnellement diversifié (cf. la recommandation en annexe au présent avis d'expertise).

À cet égard, la société CALOGENA a précisé à la fin de l'expertise qu'un système additionnel permettant l'injection ultime d'un poison neutronique soluble pourrait être présenté dans la VPRS.

3. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés, et en tenant compte des informations présentées par la société CALOGENA au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les options retenues pour la conception des systèmes d'arrêt d'urgence du réacteur CAL-30, en termes de redondances et d'exigences qui leur sont assignées, sont satisfaisantes eu égard à l'objectif de haut niveau de fiabilité attendu pour la fonction d'arrêt du réacteur.

De plus, la Direction de l'expertise en sûreté souligne les efforts de diversification menés par la société CALOGENA pour ce qui concerne l'instrumentation, le contrôle-commande et les mécanismes de commande de ces systèmes. Toutefois, le choix de la société CALOGENA de ne pas diversifier les équipages mobiles et les structures de guidage associées des deux systèmes d'AU induit un risque de mode commun de blocage multiple de grappes qui ne peut pas être exclu. Ceci a amené la Direction de l'expertise en sûreté à formuler une recommandation visant à ce que la société CALOGENA prévoie un moyen complémentaire aux dispositions prévues pour la fonction d'arrêt d'urgence, qui soit fonctionnellement diversifié, afin d'assurer, avec un haut niveau de fiabilité, la fonction de sûreté liée à la maîtrise de la réactivité.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

ANNEXE

Recommandation de la Direction de l'expertise en sûreté

La Direction de l'expertise en sûreté recommande que, afin d'assurer, avec un haut niveau de fiabilité, la fonction de sûreté liée à la maîtrise de la réactivité, la société CALOGENA prévoie un moyen complémentaire aux dispositions prévues pour la fonction d'arrêt d'urgence, qui soit fonctionnellement diversifié.