



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 12 septembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00187

Objet	: Analyse du projet de dossier d'options de sûreté du réacteur HTR "JIMMY"
Réf.	: [1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2022-032907 du 30 juin 2022 [2] Jimmy – Générateur thermique industriel - Dossier d'options de sûreté, mai 2022 [3] Jimmy – Dossier de présentation du design du réacteur, 10 juin 2022 [4] Rapport IRSN n°2014-00002 du 10 avril 2014, Examen des systèmes nucléaires de 4^{ème} génération

A la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a réalisé une analyse préliminaire du dossier d'options de sûreté (DOS) du projet de micro-réacteur calogène à haute température Jimmy [2] développé par la société Jimmy SAS. Conformément à la demande de l'ASN, l'IRSN a évalué le caractère suffisant des éléments reçus pour engager une instruction des options de sûreté. L'analyse de l'IRSN s'est limitée aux sujets techniques structurants du concept Jimmy et qui permettent une première évaluation de la maturité et de la faisabilité du projet. Une synthèse de cette analyse et de ses principales conclusions est présentée ci-après ; elle prend en compte les échanges techniques avec Jimmy SAS ainsi que la mise à jour de la conception du cœur du réacteur décrite dans la note transmise en juin 2022 [3].

1. PRESENTATION DU PROJET DE REACTEUR JIMMY

La société Jimmy SAS développe actuellement un projet de micro-réacteur calogène utilisant la technologie des réacteurs à haute température (HTR) modérés au graphite et refroidis à l'hélium pressurisé. Cette technologie est étudiée par les partenaires du forum génération IV¹ et a fait l'objet d'un examen de l'IRSN dans son rapport de 2014 [4].

¹ Le Forum génération IV (Generation Four International Forum – GIF), initié en 2000, regroupe les pays qui collaborent à la recherche et au développement sur six systèmes nucléaires innovants incluant les réacteurs à haute et très haute températures modérés au graphite et refroidis à l'hélium (HTR et VHTR).

MEMBRE DE
ETSON

L'objectif de cette installation serait de délivrer de la chaleur à un client (industriel ou collectivité) pendant une durée de 10 ou 20 ans, sans rechargement du combustible et avec une disponibilité maximale. Jimmy SAS serait le concepteur et l'exploitant du réacteur, installé à la demande sur un site proche du client, par exemple à proximité d'un site industriel.

Le réacteur Jimmy serait décliné en deux puissances thermiques de 10 MW et 20 MW et aurait une faible emprise au sol. Après sa période de service, Jimmy SAS prévoit un démantèlement rapide, après le retrait des éléments combustibles du cœur.

Le choix de la technologie HTR se justifie par des objectifs ambitieux de sûreté passive et d'absence de rejets significatifs dans toutes les situations envisageables, qui permettraient entre autres l'implantation du réacteur à proximité du client.

2. CONTEXTE DE L'ANALYSE

La technologie du réacteur Jimmy se démarque sensiblement de celle des installations nucléaires dont les options de sûreté ont fait l'objet d'un examen en France. Ainsi, bien que les grands objectifs et les principaux thèmes des DOS récemment examinés par l'IRSN puissent être reconduits pour Jimmy, les options techniques envisagées ne bénéficient pas du retour d'expérience accumulé par exemple pour la filière à eau pressurisée ou les réacteurs expérimentaux. La faisabilité de certaines options retenues pour Jimmy devra donc être étayée par des études ou des résultats de R&D spécifiques. Dans ce contexte d'une technologie innovante, l'analyse de l'IRSN est préliminaire et a pour objectif d'identifier les sujets qui devraient être développés de façon plus détaillée ou simplement traités dans le DOS du réacteur Jimmy, avant de pouvoir entamer l'instruction proprement dite des options de sûreté.

De plus, le projet Jimmy est développé dans un environnement international actif en ce qui concerne le concept HTR avec, entre autres, la mise en service récente de deux unités couplées en Chine (HTR-PM), le développement de la qualification du combustible, des projets d'usines du cycle du combustible aux Etats-Unis et le projet EUTHER de réacteur d'expérimentation en Pologne.

Accompagnant ces développements, l'AIEA a publié de nombreux travaux sur le concept HTR, tant sur ses aspects techniques que sur l'approche et les exigences de sûreté à la conception.

3. OBJECTIFS ET DEMARCHE DE SURETE

Jimmy SAS présente dans le DOS les principaux objectifs de sûreté de son réacteur. Cependant, beaucoup de ces objectifs sont repris de documents généraux et ne paraissent pas spécifiques de la technologie du réacteur Jimmy. **C'est pourquoi l'IRSN estime que les objectifs de sûreté de Jimmy devraient être plus clairement identifiés et inclure notamment des objectifs quantifiés.** Pour mémoire, l'objectif visé pour les HTR de quatrième génération est qu'aucune mesure de protection des populations ne soit requise en cas d'accident. En particulier, les transitoires non protégés² ne doivent pas engendrer de dégradation du cœur et du combustible. **À cet égard, l'IRSN estime que Jimmy SAS devrait préciser le comportement attendu du réacteur dans le cas des transitoires non protégés avec ou sans dépressurisation du circuit primaire.**

Pour ce qui concerne la démarche de sûreté, Jimmy SAS a assimilé les principes en vigueur pour les centrales existantes et a identifié un référentiel réglementaire applicable. L'IRSN estime que les principes de la démarche de sûreté déterministe appliquée aux installations actuelles sont également applicables aux HTR et en particulier au réacteur Jimmy. **Toutefois, il conviendrait que Jimmy SAS s'assure que le référentiel réglementaire évoqué,**

² C'est-à-dire sans chute des barres de sécurité.

développé principalement pour les réacteurs à eau pressurisée, peut effectivement s'appliquer au réacteur Jimmy.

4. CONCEPTION DU REACTEUR

Au-delà des objectifs et de l'approche de sûreté, le rôle essentiel du DOS est d'apporter des éléments préliminaires qui étayent la crédibilité et la faisabilité techniques des options de sûreté envisagées. Pour cela, **l'IRSN estime que la conception du réacteur devra être poursuivie plus avant pour que Jimmy SAS puisse disposer de ces éléments. Ainsi, Jimmy SAS devra identifier dans son DOS les sujets techniques structurants pour la démonstration de sûreté et montrer la faisabilité technique des principales options associées.**

La conception du cœur du réacteur s'écarte de celle classiquement présentée pour le concept HTR de type prismatique (combustibles insérés dans des blocs de graphite). Elle inclut notamment la présence d'enveloppes métalliques pressurisées (dites « mini-cuves ») dans la zone active du cœur. De même, l'objectif de durée de vie importante du cœur s'oppose indirectement à celui de maîtrise passive des accidents d'insertion de réactivité³ car il implique de disposer d'une importante réserve de réactivité au démarrage. Même compensés par l'utilisation de poisons neutroniques, les effets défavorables de l'allongement visé du cycle devront être maîtrisés. **En résumé, bien que des études détaillées des transitoires accidentels ne soient pas requises au stade du DOS, la démonstration de l'atteinte des objectifs de sûreté passive est le fondement du concept HTR et nécessite que des éléments concrets soient apportés au stade du DOS.**

D'autres éléments techniques trop succinctement développés dans le DOS, comme la conception du système d'arrêt, le système de purification de l'hélium primaire et les systèmes de refroidissement, sont importants pour la démonstration de sûreté mais bénéficient d'un bon retour d'expérience et leur faisabilité n'est pas en cause. En revanche, les fonctions de sûreté et les exigences qui leur sont associées devraient être précisées dans le DOS. Il conviendrait également que Jimmy SAS présente dans le DOS les options de conception permettant de maîtriser le risque sismique.

Enfin, l'utilisation des pompes primaires comme moyen d'arrêt du réacteur et s'appuyant sur les contre-réactions neutroniques méritera une évaluation approfondie, ces équipements n'ayant en général pas de fonction de sûreté dans les HTR, hormis l'étanchéité à l'égard de l'hélium primaire.

5. SURETE DES BARRIERES DE CONFINEMENT

La question essentielle de la sûreté de la première barrière bénéficie de nombreuses études et développements au niveau international. En particulier, la qualification et l'assurance de la qualité du combustible TRISO à base d'oxycarbure d'uranium enrichi (UCO) sont en passe d'être établies par plusieurs fabricants et des laboratoires aux Etats-Unis. Par ailleurs, une analyse préliminaire montre que les conditions de fonctionnement envisagées pour le combustible de Jimmy seraient couvertes par le domaine exploré lors des essais de qualification. L'IRSN estime donc que Jimmy SAS devrait pouvoir disposer d'un combustible qualifié. **Quoi qu'il en soit, la qualification du combustible du réacteur Jimmy devra faire l'objet d'un dossier à transmettre avec le rapport de sûreté.**

La qualité et la sûreté de la deuxième barrière de confinement est également importante pour le concept HTR, du fait de la perméabilité (faible) en fonctionnement normal des particules de combustible à l'égard de certains radioéléments. Ces points sont à développer dans le DOS, la conception des circuits primaires n'apparaissant pas

³ La réactivité mesure l'écart du système nucléaire par rapport à l'état critique. Lorsque le système est critique, la réaction en chaîne est stable et la puissance thermique produite constante. Ainsi, une insertion de réactivité se traduit par un accroissement de la puissance thermique.

suffisamment aboutie. Notamment, la faisabilité des mini-cuves doit encore être démontrée eu égard aux contraintes d'un cœur à haute température.

La stratégie de confinement par la troisième barrière est spécifique pour les HTR. Les éléments fournis dans le DOS montrent que Jimmy SAS reprendrait celle développée pour les réacteurs passés tels que le HTR-MODULE. Elle consiste en un confinement dynamique en fonctionnement normal associé à des soupapes de protection du bâtiment du réacteur contre la surpression qui autoriserait des rejets directs en cas de dépressurisation accidentelle du circuit primaire. Cette option est jugée généralement comme adaptée à l'enjeu de sûreté (faible contamination du circuit primaire), à condition que les performances du combustible soient démontrées et que la surveillance en fonctionnement permette de les contrôler.

6. LISTE PRELIMINAIRE DES EVENEMENTS INITIATEURS

La liste proposée des transitoires incidentels et accidentels apparaît cohérente avec le retour d'expérience et suffisante au stade actuel de la conception. **Les éléments fournis concernant le comportement attendu du réacteur et la défense en profondeur à l'égard des conditions de fonctionnement accidentelles devront être complétés lorsque Jimmy SAS aura progressé dans sa conception et que des études plus réalistes du réacteur seront disponibles.**

7. AGRESSIONS INTERNES DE REFERENCE

Une liste succincte des agressions internes de référence est proposée dans le DOS. L'IRSN estime que cette liste devrait être complétée sur certains points. **En particulier, Jimmy SAS devrait examiner le risque d'entrée de fluide tertiaire (fluide industriel par exemple) dans le circuit secondaire qui aurait pour conséquence une sollicitation de la deuxième barrière (échangeurs primaires). Jimmy SAS devrait également élargir son analyse du risque d'inondation d'origine interne sans se limiter, le cas échéant, à la conséquence d'une défaillance du circuit de refroidissement du puits de cuve (RCCS).**

Par ailleurs, il conviendra d'examiner le risque engendré par un missile d'origine interne (pales de soufflantes en rotation à haute vitesse, portions de tuyauteries sous pression, etc.).

Enfin, Jimmy SAS devra examiner dans le DOS les causes potentielles d'explosion interne avec l'objectif d'éliminer un tel risque.

8. DOMAINE DE CONCEPTION ETENDU ET EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS

La définition d'un domaine de conception étendu⁴ est applicable au concept HTR, mais doit être interprétée du fait de l'absence de risque de fusion du cœur. Un point important est le retour d'expérience de l'accident de Fukushima et la démarche qui en a découlé de définition d'un noyau dur pour gérer les situations extrêmes relevant du domaine de conception étendu. **À cet égard, l'IRSN estime que Jimmy SAS devrait présenter dans le DOS les enseignements qu'il tire pour son réacteur de l'accident de Fukushima.**

Concernant les événements initiateurs exclus, la liste succincte proposée dans le DOS apparaît insuffisamment justifiée.

⁴ Le domaine de conception étendu comprend les événements et séquences de faible fréquence d'occurrence plus graves que ceux du domaine de conception, pour lesquels l'exploitant conçoit des moyens de mitigation. Les séquences impliquant des défaillances multiples ou la défaillance de systèmes de sûreté font partie du domaine de conception étendu.

Par ailleurs, l'IRSN estime que Jimmy SAS devra indiquer dans le DOS s'il compte appliquer une démarche d'élimination pratique⁵ et, le cas échéant, justifier son choix des séquences qui en feraient l'objet.

9. ETUDES PRELIMINAIRES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

L'IRSN n'a pas examiné en détail les éléments du DOS relatifs aux différents accidents envisagés, la conception du réacteur étant trop préliminaire. Néanmoins, il est important de rappeler que le principal objectif de sûreté associé au concept HTR de quatrième génération repose sur le respect des critères d'intégrité du combustible, du cœur et de la cuve du réacteur dans les situations de perte de refroidissement avec ou sans chute des barres de sécurité. Cette démonstration doit donc être à la base de la validation de la conception de Jimmy dès le stade préliminaire du développement du réacteur. C'est pourquoi l'IRSN estime que des éléments d'étude de ces situations, suffisamment convaincants, devraient être présentés dès le DOS.

La sûreté du concept HTR à l'égard des insertions accidentelles de réactivité repose sur la limitation de leurs conséquences par la conception du cœur et des circuits (limitation de la densité de puissance, effet des contre-réactions, etc.), plutôt que sur le système de protection. **Il conviendrait donc que Jimmy SAS présente dans son DOS les premiers résultats de ses études relatives aux insertions accidentelles de réactivité afin de valider sa conception du cœur du point de vue ces transitoires. A cet égard, Jimmy SAS devra se positionner sur la possibilité d'une entrée d'eau du circuit tertiaire dans le cœur.**

Enfin, un accident spécifique du HTR est l'entrée d'air dans le cœur, du fait de la réaction d'oxydation du graphite qui s'en suivrait. Les éléments apportés dans le DOS ne sont pas suffisamment réalistes pour permettre une évaluation du risque associé. **L'IRSN estime qu'une évaluation enveloppe mais spécifique de Jimmy devrait être présentée dans le DOS. Elle pourrait s'appuyer sur les nombreuses études réalisées et les outils de calcul existants.**

10. IDENTIFICATION ET CLASSEMENT DES EQUIPEMENTS IMPORTANTS POUR LA PROTECTION

Le classement de sûreté constitue une démarche formalisée et structurée qui permet d'identifier les équipements importants pour la protection et leur associer des exigences de conception, de réalisation et de suivi en exploitation en fonction de leur importance pour la sûreté.

Seuls quelques principes que Jimmy SAS compte appliquer pour identifier et classer les équipements importants pour la protection ainsi que quelques exemples sont présentés dans le DOS. **L'IRSN estime que Jimmy SAS devra présenter dans le DOS une démarche structurée de classement de sûreté (critères de classement et exigences associées) permettant l'identification des systèmes, structures et composants importants pour la protection et des exigences qui leur seront assignées.**

⁵ Une démarche d'«élimination pratique» doit être appliquée aux situations d'accident grave susceptibles d'entraîner des rejets radiologiques précoces importants, qui ne pourraient faire l'objet de dispositions raisonnables et démontrables de limitation des conséquences. Cette démarche consiste à mettre en œuvre des dispositions de prévention visant à rendre ces situations extrêmement improbables avec un haut degré de confiance

11. TERME SOURCE ACCIDENTEL

Jimmy SAS présente dans le DOS une première évaluation du terme source accidentel en s'appuyant en partie sur des études réalisées pour des réacteurs différents de Jimmy (réacteurs à boulets). **L'IRSN estime en conséquence que Jimmy SAS devrait en premier lieu présenter dans le DOS sa démarche pour évaluer l'inventaire et le terme source radioactif accidentel et identifier les principaux paramètres caractéristiques de sa conception susceptibles de les influencer. En second lieu, Jimmy SAS devrait proposer une première évaluation simplifiée de l'inventaire en fonctionnement normal et du terme source accidentel en justifiant son conservatisme.**

12. MAITRISE DU RISQUE LIE AU TRITIUM

Le comportement du tritium dans un réacteur calogène couplé à un circuit industriel pose la question de la possible contamination de ce dernier. Pour Jimmy, la présence d'hélium (inerte) et de CO₂ dans les circuits primaires et secondaires pourrait favoriser un tel phénomène. **C'est pourquoi l'IRSN estime que Jimmy SAS devrait présenter dans le DOS une première évaluation du tritium potentiellement rejeté par l'installation dans ses effluents et du risque de contamination du circuit tertiaire. Le cas échéant, Jimmy SAS devrait indiquer les options permettant de réduire autant que possible une telle contamination.**

13. CONCLUSION

A l'issue de cette première analyse non exhaustive du DOS, l'IRSN constate globalement que la démarche de sûreté déterministe proposée par Jimmy SAS est cohérente avec la pratique actuelle. Compte tenu de l'état préliminaire de la conception du réacteur Jimmy et de son caractère innovant, l'IRSN a identifié les sujets qui devraient être traités ou développés plus avant dans le DOS, avant d'entamer l'instruction proprement dite des options de sûreté. Il ressort de cette analyse que les principales options de sûreté sont abordées dans le DOS (cœur, barrières, principaux accidents, etc.) mais leur évaluation nécessiterait des éléments complémentaires de la part de Jimmy SAS. Pour cela, l'IRSN a noté que la conception du réacteur devait être approfondie ou parfois révisée, notamment pour ce qui concerne le cœur et les circuits primaires, afin de disposer des éléments requis pour démontrer la crédibilité et la faisabilité des options actuellement proposées.

Ainsi, la conception du cœur avec les performances recherchées en termes notamment de durée de vie n'apparaît pas encore aboutie ; il en est de même de la faisabilité technique du concept de mini-cuve. Pour ce qui concerne la sûreté passive, la démonstration du maintien de l'intégrité du combustible en cas de transitoires de perte de refroidissement ou d'accroissement de puissance non protégés reste à apporter. Jimmy SAS devra également présenter une première évaluation convaincante des conséquences radiologiques des accidents de dépressurisation. En effet, ces deux points sont fondamentaux pour le concept HTR de la quatrième génération.

Enfin, le concept Jimmy met en avant un principe de démantèlement complet et rapide des unités après leur temps de service. Sur ce point, il conviendrait que Jimmy SAS précise sa stratégie pour faciliter le démantèlement et les options envisagées pour la gestion des déchets, en particulier le graphite du cœur.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Olivier Dubois

Directeur adjoint de l'expertise de sûreté