

## Synthèse du rapport de l'IRSN sur son analyse du dossier d'orientations de sûreté (DOs) du projet de réacteur ASTRID

En janvier 2006, le Président de la République a fixé l'échéance de 2020 pour la mise en service d'un prototype de réacteur de quatrième génération. Après avoir initialement retenu, pour les besoins français, l'utilisation de réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium ou au gaz, les travaux de l'ensemble des acteurs français se sont recentrés en 2009 sur le concept refroidi au sodium (RNR-Na), seul réacteur à neutrons rapides jugé suffisamment mature en regard de l'échéance indiquée dans la loi de 2006.

En 2010, le CEA a été chargé par l'Etat de la conduite des études de conception d'un réacteur prototype nommé ASTRID pour « Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration ». Le CEA s'est associé à AREVA et à EDF pour constituer une structure de projet dénommée « Projet ASTRID » (ci-après « le Projet »). Le projet ASTRID a pour objectif l'étude et la réalisation d'un « démonstrateur technologique de 600 MWe dont les options sont extrapolables à un réacteur commercial ». Le programme ASTRID comporte également les études de faisabilité et de conception des installations du cycle associé, ainsi que la remise à niveau d'installations d'essais et de qualification. La réussite de ce programme conditionnera le développement éventuel d'une filière industrielle de réacteurs de puissance, à l'horizon 2040.

Afin d'engager au plus tôt les discussions avec l'Autorité de sûreté nucléaire, le Projet a rédigé un « Document d'Orientations de Sûreté » (DOs) présentant les grandes orientations de sûreté qui guideront les concepteurs dans le choix et la validation des options de conception. L'ASN a souhaité recueillir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires sur ce document. La synthèse de l'évaluation de l'IRSN est présentée ci-après.

### I - Enseignements tirés du retour d'expérience des RNR-Na

L'IRSN note que les orientations présentées dans le DOs sont en grande partie fondées sur le retour d'expérience d'exploitation des RNR-Na de la filière française. A cet égard, certaines options techniques expérimentées avec succès sur les réacteurs Phénix et Superphénix devraient être reconduites pour ASTRID.

Le retour d'expérience d'exploitation des RNR-Na a également mis en évidence des domaines dans lesquels des innovations sont nécessaires pour améliorer la fiabilité et la sûreté du concept. Les innovations techniques structurantes envisagées pour le projet ASTRID sont évoquées dans le DOs sans toutefois être détaillées. Le DOs présente les pistes d'amélioration actuellement à l'étude dans le cadre du projet, sans préjuger de leur prise en compte in fine. Elles concernent les domaines suivants :

- le comportement naturel du cœur dans les transitoires incidentels et accidentels,
- la maîtrise de l'accident de fusion du cœur,
- l'instrumentation dédiée à la surveillance du cœur,
- les moyens de contrôle en service,
- la maîtrise des risques associés au sodium.

L'IRSN considère que les principaux enseignements tirés du retour d'expérience d'exploitation des réacteurs de type RNR-Na sont pris en compte à ce stade du Projet. Il conviendra de s'assurer, dans le cadre de l'instruction du Dossier d'Options de Sûreté (DOS) puis du Rapport Préliminaire de Sûreté (RPrS), de la prise en compte d'autres aspects techniques issus du retour d'expérience.

## **II - Objectifs de sûreté pour ASTRID**

Le réacteur ASTRID est présenté par le Projet comme devant :

- présenter un niveau de sûreté équivalent à celui des réacteurs de troisième génération et intégrer les enseignements de l'accident Fukushima,
- intégrer les améliorations spécifiques issues de l'analyse du retour d'expérience des anciens réacteurs français.

Du point de vue de l'IRSN, ces orientations devraient conduire le Projet à préciser les objectifs de sûreté en définissant par exemple une fréquence globale de fusion du cœur permettant d'orienter la conception ou encore des délais d'autonomie de l'installation ou de limitation de l'impact d'un accident sur les installations situées à proximité. Enfin, l'IRSN estime souhaitable que les objectifs généraux de sûreté de l'installation ASTRID soient complétés par des objectifs particuliers liés au rôle de démonstrateur d'ASTRID vis-à-vis d'une future filière de génération IV.

## **III - Référentiel réglementaire et de conception**

Le Projet n'a pas mené, dans le cadre de l'élaboration du DORS, d'examen détaillé des référentiels réglementaire et para-réglementaire applicables.

Le point majeur qui ressort de l'analyse de l'IRSN porte sur le traitement, dans la démonstration de sûreté, des risques liés à l'utilisation du sodium. Le Projet indique que la probabilité et la gravité des conséquences des accidents mettant en jeu des risques toxiques seront évaluées conformément à l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 qui s'adresse aux installations classées soumises à autorisation. L'IRSN estime que, si cette approche peut constituer une étape initiale d'identification des différents scénarios accidentels possibles, elle devra être complétée par une démonstration déterministe, basée sur le concept de défense en profondeur, conformément à la réglementation des Installations Nucléaires de Base.

## IV - Démarche de conception

### Classement des situations de fonctionnement

L'IRSN constate que les principes retenus pour le classement des situations de fonctionnement se situent dans la continuité de ceux mis en œuvre pour les RNR-Na précédents. Le Projet distingue le domaine des conditions de fonctionnement (« CF ») qui comporte quatre catégories et le domaine des situations hypothétiques (« SH ») qui contient les situations de prévention des accidents de fusion généralisée du cœur (« SP »), les situations de mitigation d'un accident de fusion généralisée du cœur ou de perte significative des dispositions de confinement (« SM ») ainsi que les situations devant faire l'objet d'une « élimination pratique » (« SPE »).

L'IRSN note que le Projet prend en compte les diverses origines possibles des situations de défaillances multiples, notamment le fait que ces défaillances peuvent être consécutives à une agression ; il envisage de classer certaines situations de défaillances multiples dans le domaine des conditions de fonctionnement compte tenu de leur probabilité d'occurrence. De façon générale, la prise en compte des agressions externes doit faire l'objet d'une attention particulière. En particulier, l'IRSN demande au Projet de préciser, au stade du DOS, l'approche qu'il compte mettre en œuvre pour s'assurer que les agressions externes ne constitueront pas une part importante du risque associé à l'installation ASTRID.

L'IRSN a enfin noté que le Projet définira, pour une même famille d'événements, des situations classées dans les différentes catégories du domaine incidentel jusqu'au domaine hypothétique, ce qui permet une progressivité dans la définition des dispositions de limitation de l'évolution d'un incident ou d'un accident. L'ensemble de ces propositions est jugé satisfaisant par l'IRSN.

### Règles d'analyse des situations de fonctionnement

Hormis la nécessité de clarifier les règles associées à la prise en compte d'une défaillance unique dans les analyses des accidents, les règles d'analyse proposées par le Projet n'appellent pas de remarque majeure de la part de l'IRSN. L'IRSN estime que la proposition du Projet qui envisage de cumuler la perte des systèmes supports externes au site (alimentations électriques et source froide « eau ») aux situations relevant du domaine « SP » ou « SM », est satisfaisante.

### Défense en profondeur - Méthode des lignes de défense et de mitigation

Pour la conception des dispositions de prévention des incidents et des accidents, le Projet applique la méthode dite des lignes de défense. La notion de ligne de mitigation sera utilisée pour concevoir les dispositions de limitation des conséquences des accidents de fusion du cœur. L'IRSN estime que ces méthodes permettent de structurer la démarche de conception. Les principes de définition des lignes de défense et de mitigation, les exigences de conception associées aux équipements qui les composent ou encore l'identification des cas dans lesquels elles ne s'appliqueraient pas seront examinés au stade du DOS.

De plus, l'IRSN rappelle que la démonstration de sûreté ne peut reposer exclusivement sur ces méthodes ; elles devront être complétées par les études probabilistes de sûreté.

### Utilisation des études probabilistes

Le thème des études probabilistes (EPS) est peu développé dans le DOrS et en particulier la position du Projet sur leur utilisation dans la démonstration de sûreté. Le Projet précise néanmoins qu'il considère les EPS comme faisant partie des méthodes d'analyse de sûreté et qu'il compte les utiliser en support au choix des options de conception.

S'agissant d'un nouveau réacteur, l'IRSN considère que l'approche déterministe de la conception doit être complétée, le plus tôt possible, par des études probabilistes de niveau 1 et 2 (EPS1 et EPS2). A cet égard, l'IRSN souligne que, au stade de la conception, l'EPS1 doit permettre de vérifier le bien-fondé des niveaux de redondance et de diversification des systèmes, structures et composants (SSC) et, plus généralement, d'apprécier les gains apportés par les innovations de conception et que l'EPS2 apportera un élément de justification du respect des objectifs de limitation des rejets en cas d'accident, y compris dans le cadre de sa gestion à long terme.

### Classement de sûreté et qualification aux conditions accidentelles

Les éléments présentés dans le DOrS concernant le classement de sûreté des SSC et leur qualification aux conditions accidentelles sont extrêmement succincts. L'IRSN considère que les principes retenus dans la démarche de classement de sûreté doivent faire l'objet d'échanges approfondis dès le DOS.

### Démarche de prise en compte des agressions internes et externes

Les éléments présentés dans le DOrS concernant la prise en compte des agressions internes et externes sont peu détaillés.

Pour ce qui concerne les agressions naturelles ou liées à l'activité humaine, l'IRSN rappelle l'importance du choix du site. De plus, il estime que, compte tenu du retour d'expérience de l'accident de Fukushima et des évaluations complémentaires de sûreté, la démarche de prise en compte des agressions naturelles devrait distinguer :

- d'une part un domaine des agressions de « dimensionnement de référence », auquel seraient associés, pour chaque agression, des objectifs ambitieux en termes de phénomènes à couvrir et de fréquence de dépassement,
- d'autre part, un « domaine complémentaire des agressions externes », auquel serait associés, pour certaines agressions externes ou cumuls d'agressions susceptibles de conduire à un effet falaise dans l'installation, des niveaux d'aléa supérieurs à ceux retenus pour le dimensionnement de référence.

L'IRSN estime en effet qu'il n'est pas souhaitable de reconduire in-extenso, pour une nouvelle installation, la notion de « noyau dur », retenue suite aux évaluations complémentaires de sûreté, tel que le propose le Projet.

A cet égard, l'IRSN estime que le seul renforcement des dispositions de limitation des rejets en situation d'accident grave et des dispositions de prévention des situations devant être « pratiquement éliminées » n'est pas suffisant et qu'un ensemble de dispositions visant à prévenir la fusion du cœur (incluant les bâtiments assurant le confinement, la cuve du réacteur, la piscine d'entreposage du combustible...) doit être dimensionné aux niveaux d'aléas retenus dans le « domaine complémentaire des agressions externes ».

#### Prise en compte des accidents graves à la conception

Le Projet indique dans le DOrS qu'il compte renforcer la prévention de toutes les situations envisageables qui pourraient engendrer un accident grave. Par ailleurs, il prend en compte l'accident de fusion généralisée du cœur et ses conséquences potentielles dans la conception du réacteur ASTRID, au titre du quatrième niveau de la défense en profondeur.

La démarche de prise en compte des accidents graves est fondée sur l'analyse d'états dégradés du cœur. Dans le même temps, les dispositions de limitation des conséquences de l'accident grave sont dimensionnées de façon découplée par rapport aux résultats des études d'accident de fusion généralisée du cœur (approche « Top- Down »). Au final, l'existence de marges confortables vis-à-vis des phénomènes susceptibles de se produire en accident grave sera vérifiée. L'IRSN juge globalement satisfaisante la démarche retenue par le Projet.

Toutefois, dans le cadre de la prise en compte du retour d'expérience de l'accident de Fukushima, l'IRSN estime que le Projet devra spécifier les dispositions de gestion à long terme d'un accident grave et s'assurer de l'absence d'effet falaise dans les phases tardives de l'accident.

#### Situations « pratiquement éliminées »

Les situations *susceptibles de conduire à des rejets précoces ou importants de produits dangereux dans l'environnement doivent faire l'objet d'une « élimination pratique »*. La démarche consiste à *mettre en œuvre* des dispositions pour rendre ces situations physiquement impossibles ou, à défaut, *extrêmement improbables, avec un niveau de confiance très élevé*.

Le Projet propose de définir, dès à présent, une liste des situations devant faire l'objet d'une « élimination pratique », ce qui est satisfaisant. Cela permet d'orienter la conception afin de rechercher en priorité à les rendre physiquement impossibles. L'IRSN estime que la méthode d'identification de ces situations, qui se veut prudente à ce stade d'avancement du projet compte tenu des travaux de R&D et des études restant à réaliser, notamment dans le domaine des accidents graves, est globalement satisfaisante.

Le Projet présente, dans le DOrS, la démarche qu'il retient pour justifier la suffisance des dispositions de prévention des situations à « éliminer pratiquement ». Cette démarche comporte un volet déterministe structuré suivant la méthode des lignes de défense complété par des études probabilistes. Si, sur le plan des principes, cette démarche n'appelle pas de remarque importante de la part de l'IRSN, il note cependant que sa déclinaison dans le cadre des exemples présentés dans le DOrS apparaît très discutable.

L'IRSN rappelle que la décision d' « élimination pratique » doit se justifier par la mise en œuvre de dispositions de prévention particulièrement robustes, faisant l'objet d'exigences fortes de conception et d'exploitation. A cet égard, l'IRSN note que le Projet a prévu de retenir la classe de sûreté la plus contraignante pour les SSC « essentiels » participant à la prévention des situations à « éliminer pratiquement ».

## V - Orientations relatives aux deux premières barrières

### Première barrière

Le Projet présente des critères généraux relatifs à la sûreté en réacteur du combustible et de sa gaine plus ambitieux que ceux retenus pour les réacteurs précédents ; en particulier, l'objectif retenu par le Projet d'éviter la fusion partielle du combustible en catégories 2 et 3 est jugé satisfaisant par l'IRSN. Ces critères généraux seront ensuite déclinés en critères de découplage.

L'IRSN note également que le Projet a pour objectif général d'améliorer la surveillance du cœur, ce qui devrait contribuer à renforcer la prévention des accidents.

Les critères de découplage qui s'appliquent aux gaines lors des phases de manutention hors du sodium du cœur ne sont pas précisés au stade du DOrS. L'orientation retenue par le Projet consiste à s'assurer que des événements tels que des blocages dans la chaîne de manutention ou la perte du refroidissement actif ne conduiraient pas à la fusion locale des gaines (maintien d'une géométrie refroidissable). L'IRSN estime d'ores et déjà qu'il conviendrait de viser, pour ces événements, le maintien de l'intégrité des gaines.

### Deuxième barrière

La conception de la deuxième barrière n'est pas encore figée par le Projet. Il indique néanmoins qu'elle devra présenter une résistance homogène aux différentes sollicitations envisageables (élimination des points faibles des structures) et qu'elle sera dimensionnée pour ménager d'importantes marges de sécurité en situation d'accident grave.

Le Projet exprime sa volonté d'améliorer les performances des moyens de surveillance de la 2<sup>ème</sup> barrière et a engagé des actions de R&D sur ce thème.

Concernant la détection des éventuelles fuites de sodium du primaire, l'IRSN souligne l'intérêt de renforcer la sensibilité et la fiabilité de la détection dans les espaces inertés situés entre les cuves et de prendre des dispositions au niveau de la deuxième barrière entourant le combustible en phase de manutention.

## VI - Orientations relatives aux principales fonctions de sûreté

### Maîtrise de la réactivité

Le Projet poursuit actuellement un programme d'études dont l'objectif est d'améliorer le comportement naturel du cœur dans les divers transitoires incidentels et accidentels. Deux concepts de cœur sont développés pour lesquels les différents paramètres de contre-réactions

neutroniques sont optimisés afin d'atteindre cet objectif. Le Projet cherche notamment à réduire l'effet positif en réactivité d'une vidange accidentelle du sodium (« effet de vide »). L'IRSN souligne l'intérêt de la démarche adoptée par le Projet pour renforcer la prévention et la limitation des conséquences des accidents affectant le cœur. A cet égard, l'IRSN rappelle que l'optimisation du cœur doit également tenir compte de l'effet en réactivité d'une vidange locale du sodium.

Concernant l'architecture générale du système d'arrêt automatique du réacteur, le Projet reprend l'orientation de conception issue des études du projet EFR (European Fast Reactor), notamment en envisageant la mise en place d'un troisième système diversifié ce qui est jugé satisfaisant.

La description des postes qui contribuent à assurer la protection du cœur et les paramètres physiques associés à ces postes seront examinés en détail au stade du DOS. Il en est de même pour les critères de dimensionnement de l'anti-réactivité des barres absorbantes.

#### Maîtrise du refroidissement du réacteur

Concernant la maîtrise du refroidissement, les orientations présentées dans le DOrS reprennent les dispositions étudiées pour le projet EFR, à savoir la conception de circuits diversifiés, dédiés à l'évacuation de la puissance résiduelle (EPuR) et capables de fonctionner en cas de fusion du cœur. L'IRSN estime ces orientations satisfaisantes et souligne l'importance de la prise en compte des études probabilistes pour guider la conception des systèmes d'EPuR. L'IRSN estime, de plus, que le Projet devrait envisager la possibilité de mettre en œuvre des moyens mobiles pour, le cas échéant, rétablir la fonction EPuR, et examiner la possibilité d'utiliser le système de refroidissement du puits de cuve pour compléter l'EPuR.

#### Confinement des matières radioactives et toxiques

Un principe structurant retenu par le Projet est de séparer les zones de l'installation présentant des risques radiologiques de celles présentant des risques toxiques. Ceci conduit le Projet à envisager des solutions nouvelles pour traiter les conséquences d'un feu de sodium non-radioactif qui se produirait dans le bâtiment du réacteur. L'IRSN examinera les dispositions permettant d'atteindre cet objectif au stade du DOS.

La démarche de conception du confinement n'est pas aboutie à l'heure actuelle ; en particulier, le nombre de barrières et le rôle attribué au bâtiment du réacteur à l'égard du confinement ne sont pas définis. L'orientation principale consiste à concevoir une enceinte de confinement du réacteur, isolable et pourvue d'un critère d'étanchéité. Le Projet définit un certain nombre d'orientations nouvelles, fondées sur l'examen des RNR-Na précédents, qui consistent notamment à traiter à la conception les bipses potentiels du confinement et à mettre en œuvre une enceinte de confinement capable de collecter les éventuels rejets radioactifs issus de la deuxième barrière de confinement.

L'IRSN estime que ces orientations devraient se concrétiser par une amélioration de la performance du confinement par rapport aux précédents RNR-Na. Il souligne cependant qu'une attention particulière devra être apportée à l'efficacité du confinement des zones d'entreposage et de manutention du combustible.

## VII - Orientations relatives au démantèlement

Le Projet prend en compte dans la conception d'ASTRID les contraintes relatives au démantèlement, notamment celles identifiées d'après les premiers éléments du retour d'expérience de Superphénix, ce qui est satisfaisant dans le principe.

## VIII - Orientations relatives à la R&D en support à la sûreté

La conception du réacteur ASTRID repose en partie sur les résultats de programmes de R&D actuellement en cours de réalisation ou de développement. A cet égard, l'IRSN considère que le Projet a identifié de façon satisfaisante les domaines pour lesquels des programmes de R&D devaient être mis en œuvre.

Dans le cadre du DOS, le Projet présentera sa méthodologie de qualification et de validation des logiciels de calculs utilisés en support à la conception du cœur, en intégrant le domaine accidentel.

Les logiciels utilisés pour la modélisation des accidents graves devront par ailleurs apporter la confirmation du bon dimensionnement des moyens de limitation des conséquences, initialement basé sur une approche de type « top-down », découplée de l'étude des scénarios. La plupart de ces outils nécessitant d'être révisés au stade du DOS, le Projet présentera son plan d'évolution des logiciels de sûreté orienté vers la modélisation des accidents graves.

## IX - Conclusion

Le Projet ASTRID a transmis à l'ASN un Document d'Orientations de Sûreté afin de recueillir son avis sur les grandes orientations de sûreté du projet au stade de la phase d'avant-projet sommaire.

L'IRSN souligne tout d'abord que les principaux enseignements tirés du retour d'expérience d'exploitation des réacteurs de type RNR-Na et des études réalisées pour le projet EFR dans les années 90 sont pris en compte. Ces enseignements sous-tendent les pistes d'amélioration présentées dans le DOrS, que l'IRSN juge satisfaisantes.

L'IRSN note que le Projet cherche à systématiser l'application du principe de défense en profondeur au moyen de la méthode des lignes de défense et de mitigation dans l'approche de sûreté et vise également à présenter une démonstration de sûreté plus robuste fondée sur des marges de dimensionnement importantes et mieux justifiées, ce qui est satisfaisant sur le plan des principes. L'IRSN a toutefois demandé au Projet de revoir certains aspects de la démarche de sûreté afin de mieux tenir compte des risques induits par les agressions externes, notamment en définissant des dispositions résistantes à des niveaux d'aléas supérieurs aux aléas retenus pour le dimensionnement de référence de l'installation. L'IRSN estime de plus que l'approche déterministe devra être complétée, le plus tôt possible, par la réalisation d'études probabilistes, notamment en support aux choix de conception.

Pour ce qui concerne les risques liés à l'utilisation de sodium, l'IRSN note que le Projet s'appuie que les méthodes retenues dans la réglementation ICPE. Il rappelle qu'au titre de la réglementation INB, une démonstration de sûreté déterministe, basée sur le concept de défense en profondeur, doit être apportée.



Par ailleurs, l'IRSN souligne que des éléments qui lui semblent structurants pour le projet ASTRID ne sont pas présentés dans le DOrS. Il s'agit par exemple de l'architecture des deuxième et troisième barrières de confinement, de la stratégie de manutention et d'entreposage du combustible ou encore du classement de sûreté. Ainsi, la déclinaison des orientations au travers des options de sûreté du DOS permettra d'évaluer si le réacteur ASTRID apporte réellement une amélioration de la sûreté du concept RNR-Na.

Enfin, l'IRSN est conscient que les résultats des études en cours ou à venir sont susceptibles de remettre en cause certaines des orientations proposées dans le DOrS.