

# Rapport d'évaluation du Groupe thématique de recherche « Cœur, combustible, chaudière »

Président de la Commission d'évaluation :

Bernard Verboomen

Directeur délégué à l'évaluation scientifique (vérificateur IRSN) :

François Bréchnac

Ce rapport est le résultat de l'évaluation de la commission d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de cette commission.

### **MEMBRES DE LA COMMISSION D'ÉVALUATION**

**Président :** Bernard VERBOOMEN, directeur du département sûreté nucléaire de Tractebel-Engie, Belgique, membre du Comité de Visite

**Experts :** Johannes BERTSCH, Program Manager, Paul-Scherrer-Institut, Suisse  
Christophe DEMAZIERE, Professeur, département de physique appliquée, Université de technologie de Chalmers, Suède

Anis Bousbia SALAH, Safety Analyst, Bel V, Belgique

Marc VERWERFT, Group Leader Fuel Materials, Institut Science des matériaux Nucléaires, SCK-CEN, Mol, Belgique

Jinzhao ZHANG, Chief Engineer, Fuel Studies Group, département Nuclear Processes, Tractebel-Engie, Belgique

Martin A. ZIMMERMANN, président du conseil de l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN-ENSI), Suisse, membre du Comité de Visite

### **Représentant de l'établissement tutelle de l'unité :**

François BRECHIGNAC, IRSN

**Auteur :** Bernard VERBOOMEN, Président de la Commission d'évaluation

Date : 06/04/2020

Signature :



**Vérificateur :** François BRECHIGNAC, Directeur délégué à l'évaluation scientifique

Date : 08/04/2020

Signature :



**Valideur :** Michel QUINTARD, Président du Comité de Visite

Date : 07/04/2020

Signature :



## SYNTHESE DES AVIS ET RECOMMANDATIONS

La présente évaluation du Groupe thématique de recherche (GTR) « Cœur, combustible, chaudière » a été conduite sous l'égide de l'Instance d'évaluation externe de l'IRSN, selon la procédure agréée par le HCERES. Cette évaluation a été effectuée du 25 au 27 novembre 2019 par une commission d'évaluation constituée par des membres du Comité de Visite (CV) de l'IRSN et des experts invités spécialement pour cette mission. La réunion d'évaluation s'est tenue à Cadarache pour le premier jour, incluant des visites de laboratoires, et à Aix pour les 2 autres jours. Une entrevue à huis-clos entre les Membres de la Commission et des (post-) doctorants du GTR a également été organisée à la demande de la Commission.

La Commission a apprécié l'hospitalité remarquable du GTR ainsi que la grande qualité des présentations. La Commission est impressionnée par la compétence extrême du GTR et note agréablement qu'aucune question posée par la Commission n'a été évitée.

La Commission est favorablement impressionnée par le très bon équilibre atteint, au sein du GTR, entre le traitement des aspects théoriques et expérimentaux.

La Commission a constaté un engagement très élevé des agents, doctorants et post-doctorants de l'IRSN. Après discussion en huit clos avec quelques doctorants et post-doctorants du GTR, la Commission a été favorablement impressionnée par la qualité d'intégration de ceux-ci dans le GTR et de son souci de leur formation.

La Commission a le sentiment que le GTR a progressé depuis la dernière évaluation, aussi bien au niveau national qu'international. La Commission apprécie cette reconnaissance internationale du GTR qui se reflète, par exemple, dans la direction de rapports « state of the art » ou de groupes de travail de l'OCDE.

La visite des labos a été très appréciée par la Commission et celle-ci a constaté des collaborations internationales de haut niveau et en augmentation. La Commission a apprécié l'effort et la qualité mis en œuvre pour la réalisation des tests expérimentaux.

La Commission apprécie le souci du détail dans l'effort de compréhension des phénomènes (e.g. dans SCANAIR, un modèle dédié est consacré à chaque phénomène). La commission apprécie également les efforts faits au niveau de l'analyse d'incertitude. La Commission estime que le suivi de fragilisation des crayons tout le long du cycle est un très bon point.

La Commission apprécie le caractère tout à fait unique et « avant-gardiste » de DRACCAR (approche plus performante de la modélisation du fluage et de la rupture des crayons). La Commission estime que le partage du code avec d'autres partenaires permettrait, à la fois, de valoriser le code et d'élargir encore sa base de validation (actuellement, elle s'appuie notamment sur les essais COCAGNE et COAL).

La Commission a pris note que les activités sur les données nucléaires sont bien intégrées dans le cadre de JEFF.

Les tests sur la capacité de refroidissement du cœur en situation d'APRP (ELFE/COCAGNE, COAL) sont faits avec le gainage Zr-4 qui n'est plus utilisé dans le parc français. L'applicabilité des résultats pour les gainages modernes qui sont actuellement utilisés (M5, Zirlo, Optimized Zirlo) reste à confirmer. La commission note à ce propos les difficultés d'accès aux données constructeurs, limitant ainsi le développement des modèles associés et leur validation sur bancs d'essai.

L'accès aux données des exploitants est également une composante essentielle pour la validation des outils de calculs de l'IRSN et pour la vérification des analyses de sûreté. Cet accès étant très limité à ce jour, la Commission recommande vivement à la direction de l'IRSN de mettre tout en œuvre afin de remédier à cette situation. La Commission estime que l'accès aux études entreprises sur les EPR (français et étrangers) devrait également être facilité. Il est essentiel que l'IRSN se constitue des réseaux de communication lui permettant d'acquérir les informations nécessaires de manière directe. Ce retour d'expérience est non seulement important pour le démarrage de l'EPR de Flamanville, mais aussi pour un déploiement à plus grande échelle de l'EPR en France.

La Commission constate que les effectifs affectés au thème « Comportement des cœurs de réacteurs » sont les plus faibles du GTR. Ces effectifs sont, de l'avis de la Commission, insuffisants au vu des enjeux existants en physique des réacteurs, de la nécessité de développer une expertise suffisante permettant de faire contrepoids à l'exploitant, et des efforts engagés permettant d'entreprendre ses propres calculs (soit en utilisant une stratégie industrielle de modélisation, soit en utilisant des calculs haute-fidélité).

La Commission suggère à l'IRSN de prendre en considération la méthodologie de calculs couplés « méso-scale », domaine de recherche majeur au niveau international, basée sur des calculs de cœur déterministes en transport (calculs en une étape sans homogénéisation). La même remarque est d'application pour l'utilisation d'outils de CFD couplés aux codes de neutronique « méso-scale ».

Les calculs « méso-scale » sont probablement la voie royale pour répondre à une question fondamentale en matière de calculs de réacteurs, à savoir, si les calculs multi-physiques couplés au niveau « macro-scale » sont toujours conservatifs. La réponse à cette question peut avoir un impact important sur la façon dont les calculs de réacteurs sont considérés. À ce propos, l'implication de l'IRSN dans le groupe de travail « Expert Group on Multi-physics Experimental Data, Benchmarks and Validation » – EGMPEBV de l'OECD/AEN est essentielle.

La stratégie de l'IRSN basée sur l'approche duale (expérimentale/numérique) pour le traitement des différents sujets de recherche est très pertinente. Elle montre également le grand niveau d'expertise de ses équipes de recherche, que ce soit dans le domaine de la réalisation de tests expérimentaux, ou dans le volet relatif au développement d'outils de calculs de modélisation et de programmation numérique.

Considérant l'ampleur potentielle des conséquences pour la sûreté des accidents de perte de refroidissement et de dénoyage d'une piscine d'entreposage, la Commission encourage l'IRSN d'élargir ses collaborations avec les centres de recherche et les universités et de lancer d'autres projets de thèse ou de post-doctorats.

### **Questions posées par le GTR à la Commission :**

Concernant les sept questions posées par le GTR à la Commission, à la question Q1: La démarche partenariale à engager sur les ATF : quel équilibre scientifique la Commission juge-t-elle pertinent de partager entre la R&D à mener avec les industriels nucléaires (FRAMATOME, EDF) et celles avec des partenaires académiques disjoints des acteurs industriels du nucléaire ?, la Commission a répondu : Pour les ATF évolutionnaires, la Commission suggère que la balance penche sur la collaboration avec l'industrie du fait de l'absence de problèmes majeurs de compréhension de la phénoménologie associée. La Commission voudrait cependant mettre l'accent sur le caractère indispensable d'un accès suffisant aux données expérimentales (au sens large) et aux matériaux des industriels. Pour les ATF révolutionnaires, la Commission estime qu'une veille active, qui utilise des moyens déjà mis en œuvre à l'IRSN (e.g. participation à des programmes internationaux) ou qui nécessitent un effort limité (e.g. modification ponctuelle de codes de calcul), est suffisante à court terme.

A la question Q2 : La commission juge-t-elle scientifiquement pertinent la démarche du GTR pour appréhender la question de l'impact de la déformation/dégradation des crayons sur la refroidissabilité d'un cœur de réacteur en situation d'APRP, qui associe expérimentation (PERFROI) /modélisation (modèles combustible et thermohydraulique à différentes échelles) /simulation (études DRACCAR) ?, la Commission a répondu : La Commission reconnaît pleinement la pertinence de l'approche unique de l'IRSN dans le domaine de la compréhension et de la modélisation de la déformation/dégradation des crayons et de son impact sur la refroidissabilité d'un cœur de réacteur en situation d'APRP. L'approche systématique utilisée par l'IRSN, à savoir, la combinaison de tests à effets séparés, semi-intégraux et intégraux, permet une meilleure maîtrise des phénomènes complexes et couplés. La Commission reconnaît le caractère unique et pionnier du code de calcul DRACCAR. La Commission est d'opinion que la base de validation pourrait être élargie pour valoriser le code. La Commission est d'avis que le partage du code avec d'autres partenaires permettrait d'augmenter la validation & vérification du code. La Commission souligne également l'importance d'une bonne caractérisation de l'état des matériaux, et ce, pour les pré-tests comme pour les post-tests.

A la question Q3 : Place de l'expérimentation neutronique versus la simulation Monte Carlo pour valider des approches déterministes : quel avis la Commission porte-t-elle sur notre démarche, avec notamment l'extrapolation à la situation réacteur et l'évaluation d'incertitudes ? la Commission a répondu : La Commission supporte l'avis du GTR à propos du caractère inéliminable et complémentaire de l'expérience. En ce qui concerne les situations de régime stationnaire, la Commission estime que le recours aux outils MC constitue une référence solide qui peut, le cas échéant, réduire le nombre d'expériences nécessaires à la validation des codes déterministes (transport, diffusion, etc.). Pour les phénomènes non stationnaires, le recours à l'outil Monte Carlo peut s'avérer insuffisant et demander l'accès à des mesures expérimentales de haute qualité. En effet, la justification de la validité des schémas stochastiques n'est pas nécessairement établie dans ces cas particuliers. Le développement de partenariat avec des réacteurs de recherche à puissance zéro serait également un atout. La Commission apprécie l'effort porté sur la propagation des incertitudes dans les chaînes de calcul (covariances) et la mise en évidence des incertitudes sur les données nucléaires. Pour ces dernières activités, une coordination forte avec les groupes internationaux (JEFF) est vivement recommandée.

La Commission déplore que l'accès de l'IRSN aux données des exploitants de réacteurs de puissance soit extrêmement limité. L'IRSN est contraint de se contenter de l'analyse des dossiers de sûreté soumis par l'exploitant.

A la question Q4 : Quel avis la Commission porte-t-elle sur l'approche adoptée dans l'axe 1 de DENOPI consistant à appréhender les phénomènes convectifs à grande échelle par une analyse de similitude complétée par une approche paramétrique ? la Commission a répondu : La Commission estime que l'approche adoptée dans l'axe 1 de DENOPI consistant à appréhender les phénomènes convectifs à grande échelle par une analyse de similitude complétée par une approche paramétrique mérite d'être explorée La Commission encourage la démarche de l'IRSN, au vu de l'importance pour la sûreté du sujet.

A la question Q5 : Quel avis la Commission porte-t-elle sur l'approche de modélisation associée, avec notamment l'extrapolation à la situation réacteur ? la Commission a répondu : La Commission estime que l'approche de modélisation associée, avec notamment l'extrapolation à la situation réacteur est a priori fondée.

A la question Q6 : Quel avis la Commission porte-t-elle sur la part de recherche postdoctorale impliquée dans nos recherches ? la Commission a répondu : La Commission estime que la part de recherche effectuée par les post-doctorants est faible. En fonction des objectifs de l'IRSN, cette part peut ou non être augmentée. Si l'IRSN a besoin de construire de nouvelles compétences, le recours aux post-doctorants est utile. En effet, l'exploitation d'une nouvelle compétence est difficile en faisant uniquement appel à des doctorants. Une « mini-équipe », constituée d'un post-doctorant et d'un doctorant sera souvent plus efficace. Néanmoins, pour conserver ces compétences, une stratégie à plus long terme de pérennisation des ressources est indispensable. L'embauche des post-doctorants est une des solutions à ce problème.

A la question Q7 : Quel avis la Commission porte-t-elle sur les partenariats scientifiques du GTR sur les différents sujets ? la Commission identifie-t-elle des renforts à envisager ? la Commission a répondu : La Commission estime que le choix des partenariats est approprié. La Commission apprécie le réseau vaste de collaborations internationales. L'IRSN y joue souvent un rôle de premier plan. La Commission souligne également un effort certain d'augmentation des partenariats avec le monde académique. La Commission supporte l'IRSN dans cette démarche.

### **Recommandations :**

La Commission d'évaluation formule cinq recommandations :

#### **Recommandation n°1 :**

Pour la validation de ses codes de calculs, la Commission recommande fortement à la direction de l'IRSN d'initier une démarche effective pour l'accès aux données d'exploitations des centrales nucléaires du parc français (EDF) ainsi que l'accès aux codes de calculs utilisés par le CEA et les autres acteurs nucléaires français (EDF, FRAMATOME, etc.), au risque de perdre sa capacité d'expertise de haut niveau et le contact avec la communauté des neutroniciens des cœurs de réacteurs.

**Recommandation n°2 :**

Pour la recherche expérimentale en matière de matériaux, la Commission recommande fortement à la direction de l'IRSN d'initier une démarche effective pour l'accès aux matériaux représentatifs des réacteurs du parc français en exploitation (Westinghouse, Framatome, etc.), présents et futurs, au risque d'être dans l'impossibilité de fournir une expertise pertinente dans l'examen des dossiers de sûreté actuels et futurs.

La Commission recommande également de considérer l'élargissement des collaborations avec les laboratoires chauds en Europe.

**Recommandation n°3 :**

Au vu du grand nombre de codes de calculs de cœur utilisés à l'IRSN, de la stratégie d'élaboration d'une chaîne de calcul « haute-fidélité », ainsi que de la nécessité de posséder une expertise crédible vis-à-vis de l'exploitant, la Commission recommande de renforcer les effectifs relatifs à la thématique n° 3 : « comportement des cœurs de réacteurs ».

La Commission juge également souhaitable de rationaliser le nombre de codes utilisés.

La Commission recommande finalement de construire une collaboration avec les développeurs de codes, en particulier le CEA, afin de construire une stratégie à long terme viable.

**Recommandation n°4 :**

La Commission recommande au GTR d'engager une veille technologique dans le domaine du calcul multi-physique « méso-scale » utilisant l'approche déterministe.

La Commission insiste sur le fait que cette veille technologique ne doit en aucun cas diminuer l'effort investi par l'IRSN dans les méthodes de Monte Carlo.

La Commission renvoie également aux recommandations faites par la dernière Commission d'évaluation du groupe thématique de recherche « criticité ».

**Recommandation n°5 :**

La Commission recommande que la direction de l'IRSN facilite la mise à disposition immédiate de ressources High Performance Computing (HPC).