



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 24 février 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00039

Objet	REP – Paliers 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe – Comportement des joints d'étanchéité des enceintes de confinement et notamment du tampon d'accès matériel (TAM) en situation d'accident grave.
Réf.	[1] Lettre ASN - DEP-DCN-264-2009 du 5 juin 2009. [2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2020-024740 du 16 avril 2020. [3] Saisine ASN - CODEP-DCN-2021-007988 du 4 mars 2021.

1. INTRODUCTION

Sur les réacteurs du parc nucléaire français en exploitation, le tampon d'accès des matériels (TAM) constitue la plus grande traversée de l'enceinte de confinement. Cette traversée, d'environ huit mètres de diamètre, débouche directement à l'extérieur de l'enceinte et non, comme la majorité des autres traversées, dans un bâtiment périphérique. Ainsi, une inétanchéité du TAM conduirait, en situation accidentelle, à des rejets directs de radionucléides dans l'environnement, ce qui est susceptible de remettre en cause le respect des objectifs généraux de sûreté et d'annihiler les efforts effectués par EDF pour prendre en compte les situations d'accidents graves (AG)¹.

À cet égard, les joints du TAM participent au maintien de l'étanchéité de la troisième barrière de confinement. Cette fonctionnalité doit être garantie en situation normale et accidentelle.

Le comportement des joints d'étanchéité du TAM pour les réacteurs du parc en exploitation d'EDF a fait l'objet de nombreux échanges techniques et de plusieurs expertises depuis 2005. Dans le cadre de l'expertise menée en support de la préparation de la réunion du Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires consacrée au confinement des enceintes de 900 MWe du 3 mars 2005, EDF s'était engagé à compléter la qualification des joints d'étanchéité du TAM et des sas, constitués alors d'une nuance de silicone dite nuance 1, pour tenir compte de la géométrie réelle des gorges dans lesquelles ils sont placés, du risque d'extrusion en température pour les joints qui seraient trop serrés dans leurs gorges, de la tolérance dimensionnelle de fabrication des joints et de la représentativité des essais de qualification de ceux-ci aux conditions d'accident grave. Ces éléments ont conduit

¹ Les situations d'accident grave ont été introduites dans le référentiel de sûreté des réacteurs du parc en exploitation dans le cadre de leurs réexamens successifs.

MEMBRE DE
ETSON

EDF à prendre la décision de revoir la qualification de ces joints et à effectuer une recherche de nouveaux matériaux et de nouveaux profils pour répondre aux exigences de sûreté attribuées à ces composants.

Une nouvelle nuance de silicone (nuance 2) fut retenue pour ses performances par rapport aux autres matériaux testés. Un programme d'essais de qualification K1² a été mis en œuvre par EDF et une vérification sous conditions d'AG a été réalisée. À la suite des essais menés qui se sont révélés concluants, EDF a demandé à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) l'autorisation de modifier la nuance des joints du TAM et des sas, pour les enceintes des réacteurs de 900 MWe des paliers CPY et CP0. L'ASN a autorisé cette modification en 2009 dans sa lettre citée en première référence, du fait qu'elle consistait en une amélioration du matériau des joints.

En 2011, en raison de l'arrêt de fabrication d'un des composants essentiels de la nuance 2, EDF a lancé un nouveau programme de qualification sur des nouveaux profilés constitués d'une troisième nuance de silicone (nuance 3), qui s'est achevé en 2015. Selon EDF, ce programme a notamment permis d'évaluer le comportement des joints en AG dans des configurations représentatives des dispositifs d'étanchéité présents sur l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation.

En 2017, EDF a demandé à l'ASN l'autorisation de remplacer les joints d'étanchéité du TAM, des portes des sas, des hublots des sas ainsi que les « petits joints de montage » sur l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation, par des profilés en silicone de nuance 3.

En réponse à la saisine de l'ASN citée en première référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a analysé la non-régression des joints de nuance 3 par rapport aux joints de nuances 1 et 2. Dans le cadre de cette expertise, l'IRSN a estimé que le changement de matériau proposé par EDF n'induisait pas de régression pour la sûreté sur la base des caractéristiques mécaniques des matériaux retenus, celles de la nuance 3 étant supérieures à celles de la nuance 1.

En 2019, l'ASN a alors autorisé le remplacement des joints alors utilisés par des joints de nuance 3, mais a formulé à EDF dans sa lettre citée en deuxième référence trois demandes de compléments applicables à l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation. Ces demandes concernent :

- la vérification que la déformation rémanente à la compression (DRC) des joints permet de garantir l'étanchéité du TAM, en tenant compte notamment de l'effet des déformations des « brides portée de joints », des déformations différées du béton et des déformations globales des structures en conditions d'AG (demande n° 1) ;
- la prise en compte dans la méthode de qualification des joints :
 - des effets des tolérances dimensionnelles de fabrication (demande n° 2),
 - des conditions d'entreposage des joints avant leur montage (demande n° 3).

Par la saisine citée en troisième référence, l'ASN a demandé à l'IRSN d'examiner l'acceptabilité sur le plan de la sûreté des éléments apportés par EDF et en particulier :

- les hypothèses et les résultats de l'étude mécanique du comportement du TAM en AG ;
- la pertinence des réponses d'EDF aux trois demandes précitées ;
- la suffisance des dispositions de surveillance en exploitation des joints du TAM actuellement mises en œuvre par EDF.

Dans un premier temps, sont rappelés succinctement les éléments de conception du dispositif d'étanchéité des TAM pour l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation d'EDF (cf. § 2) ainsi que les différents comportements des joints en fonction des conditions d'ambiance dans le bâtiment réacteur (cf. § 3). Dans un second temps, en

² Les programmes de qualification K1 sont des programmes de qualification standardisés qui s'appliquent pour les équipements situés dans l'enceinte de confinement requis pendant et/ou après l'accident. Les conditions d'ambiance (pression, température et irradiation) retenues pour la qualification sont enveloppes des conditions d'ambiance susceptibles d'être rencontrées en situations accidentelles (hors AG).

s'appuyant sur les résultats des essais et des simulations numériques qu'il a menés en support à son expertise, l'IRSN donne son avis sur le dossier d'EDF constitué des résultats de sa campagne d'essais et des études du comportement mécanique du TAM en AG (cf. § 4), ainsi que sur la pertinence des réponses d'EDF aux demandes de l'ASN (cf. § 5). Enfin, la suffisance des dispositions de surveillance en exploitation est analysée au § 6.

2. DESCRIPTION DU DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ DES TAM POUR L'ENSEMBLE DES RÉACTEURS DU PARC EN EXPLOITATION D'EDF

La traversée des enceintes des réacteurs du parc en exploitation permettant l'accès des matériels est constituée d'une virole métallique traversant l'enceinte en béton précontraint et d'une tôle de fermeture appelée tampon d'accès des matériels comme illustré sur la figure n° 1 en Annexe 3. La virole et le tampon sont équipés chacun d'une bride à leur extrémité. La mise en contact des deux brides permet de fermer la traversée de l'accès des matériels. L'assemblage se fait, côté intérieur du bâtiment réacteur (BR), soit par des lacets³, soit par des clames⁴.

Comme illustré sur la figure n° 2 en Annexe 3, la bride de la virole présente un décaissé appelé gorge qui permet de loger deux joints concentriques d'étanchéité en silicone (un joint côté intérieur BR et un joint côté extérieur BR). Les deux joints sont maintenus par un serre-joint ou par une barrette de maintien en fonction du palier considéré, vissé sur la bride de la virole. L'écrasement des joints est limité par les bords supérieurs de la gorge de logement de la virole et/ou des cales. Le contact métal/métal obtenu lors de la fermeture du tampon permet d'assurer le transfert des efforts entre la virole et le tampon, les joints n'assurant que la seule fonction d'étanchéité.

3. COMPORTEMENT DES JOINTS EN EXPLOITATION, EN CONDITIONS D'ACCIDENT GRAVE ET POST-ACCIDENTELLE

L'étanchéité du TAM dépend notamment de l'état de compression des joints dans leur gorge caractérisé par leur taux de compression⁵. Un taux de compression trop faible peut conduire à une perte d'étanchéité du dispositif.

En situation d'exploitation, le comportement des joints varie lors des ouvertures (décompression) et des fermetures (compression) des TAM des enceintes des réacteurs du parc en exploitation. L'élastomère étant quasi-incompressible, la matière tentera d'occuper tout le volume disponible quand il est comprimé. Cet espace peut être plus important que celui prévu à la conception en fonction de l'état d'écartement entre les brides et/ou des dimensions des joints. En situation d'exploitation normale, les pressions étant similaires à l'intérieur et à l'extérieur du BR, il n'y a aucune fuite possible⁶. Par ailleurs, la capacité de retour élastique (cf. figure n° 3 en Annexe 3) des joints est importante.

En situation d'accident grave, les joints subissent les actions conjuguées de la température, de la pression, de l'irradiation et de la vapeur d'eau, paramètres qui peuvent affecter les profils des joints dans leur gorge et leurs propriétés intrinsèques. Néanmoins, dans la phase court terme de l'AG, ces dégradations n'ont pas forcément

³ Tiges filetées équipées de deux écrous.

⁴ Sorte de « U » dont les branches viennent pincer les brides à la manière d'un clip.

⁵ Le taux de compression d'un joint prend en considération la hauteur du joint et la hauteur de la gorge. Dans le cas des joints du TAM, cette valeur doit prendre en compte la hauteur du joint avec ses tolérances dimensionnelles de fabrication, l'écartement entre brides, la température de fonctionnement et la capacité de retour élastique du joint.

⁶ Il ne peut y avoir fuite au niveau d'un dispositif d'étanchéité déficient du TAM d'une enceinte d'un réacteur que s'il existe une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du BR en favorisant un transfert de fluide du milieu le plus pressurisé (intérieur) vers le milieu le moins pressurisé (extérieur).

de conséquences préjudiciables sur l'étanchéité du TAM compte tenu de l'effet favorable de la température sur le comportement des joints. En effet, à haute température, le joint se dilate et aura tendance à combler les espaces vides disponibles.

Dans la phase de refroidissement lors d'un AG et en situation post-accidentelle, les propriétés intrinsèques du joint ayant été altérées par les conditions d'accident, le comportement du joint est éloigné de celui qu'il avait avant l'accident.

4. DOSSIER D'EDF PORTANT SUR LA DÉMONSTRATION DU BON COMPORTEMENT DES JOINTS DU TAM EN CONDITIONS D'ACCIDENT GRAVE

Pour répondre aux demandes de l'ASN, EDF s'appuie d'une part sur les résultats de sa campagne d'essais réalisée entre 2012 et 2014 et d'autre part sur ses études numériques du comportement mécanique du TAM en AG.

4.1. ESSAIS DE CARACTÉRISATION DU COMPORTEMENT DES JOINTS DU TAM, DES PORTES ET HUBLOTS DES SAS EN AG

Pour démontrer le comportement en condition d'accident grave des joints de nuance 3 des dispositifs d'étanchéité des TAM, des portes des sas et des hublots des sas, ainsi que des « petits joints de montage », EDF a réalisé entre 2012 et 2014 des essais sur des maquettes représentatives de l'ensemble des dispositifs présents sur les réacteurs du parc en exploitation.

À l'issue de cette campagne, EDF a montré que les joints de toutes les maquettes ont assuré leur fonction d'étanchéité en conditions d'accident grave.

Pour l'IRSN, bien que les maquettes des TAM ne soient pas totalement représentatives de l'environnement réel des joints dans leur gorge pour certaines configurations, ces différences ne devraient pas remettre en cause le caractère transposable des résultats de cette campagne au dispositif d'étanchéité des TAM équipant les réacteurs du parc en exploitation, mais uniquement pour le cas de brides parfaitement planes.

Par ailleurs, l'IRSN estime que les chargements (pression, température et irradiation) considérés par EDF dans sa campagne d'essais vis-à-vis des différents états de modifications⁷ sont acceptables. Il note toutefois que les éléments apportés par EDF ne permettraient pas de valoriser la tenue des joints du TAM au-delà de la durée de mission⁸ d'un mois.

Enfin, l'IRSN considère que l'étanchéité des TAM des réacteurs du parc en exploitation en AG n'est acquise que si les brides restent parfaitement planes. Cet état assure un contact métal/métal sur l'ensemble de la zone d'appui des brides en vis-à-vis. Dans la réalité, les déformations de l'enceinte⁹ peuvent provoquer localement un écartement entre les brides dont l'effet sur l'étanchéité des différents dispositifs, et notamment du TAM, doit être étudié. C'est l'objet des études menées par EDF présentées au § 4.2.

⁷ Un état de modifications associé à un réexamen périodique (RP) correspond à l'état prévu de l'installation après réalisation des modifications associées au réexamen périodique.

⁸ La durée de mission est ici la durée durant laquelle la fonction confinement doit être maintenue.

⁹ Les déformations de l'enceinte sont de deux types : les déformations différées imposées par le béton (retrait, fluage, perte de précontrainte) qui affectent l'enceinte en exploitation normale et les déformations induites par les chargements en conditions accidentelles (pression et température).

4.2. ÉTUDES DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DU TAM

4.2.1. Représentativité du TAM étudié

Les réacteurs de chaque palier présentent des spécificités vis-à-vis de la conception du dispositif d'étanchéité du TAM. Ces spécificités concernent les caractéristiques géométriques des joints (trois profils différents en fonction des paliers), leur environnement (gorges, serre-joint...), ainsi que les systèmes de fermeture (lacets ou clames, nombre et effort de serrage correspondant variables).

Initialement, EDF a choisi d'établir un modèle numérique lui permettant d'étudier le comportement du TAM de l'enceinte du palier P4 pour laquelle les déformations différées du béton sont enveloppes de celles du parc en exploitation. Il s'agit du modèle TAM P4 avec des cales¹⁰ discontinues.

Par la suite, une mise à jour du modèle numérique a permis à EDF d'étudier d'autres configurations, mais uniquement avec des systèmes de fermeture par lacets. Il s'agit des modèles TAM P4 avec cales continues et TAM CPY.

Les TAM des paliers P'4 et N4, avec une fermeture par clames, deux profils de joints distincts et certaines spécificités liées au palier N4 dont la dissymétrie de raideur induite par le sas personnel intégré au tampon, n'ont pas été étudiés.

Ainsi, l'IRSN estime que les études présentées par EDF du comportement mécanique du TAM en accident grave sont représentatives des enceintes des réacteurs des paliers CPY et P4, mais ne le sont pas des enceintes des paliers P'4 et N4.

4.2.2. Modèle mis en œuvre

Les études d'EDF s'appuient sur des modèles aux éléments finis d'un TAM d'une enceinte d'un réacteur du palier P4 et d'un réacteur du palier CPY sans modélisation explicite des joints. Ces derniers sont pris en compte au travers d'une pression constante, correspondant aux efforts induits par l'écrasement des joints dans leur gorge sur les brides en vis-à-vis. **Pour l'IRSN, la modélisation simplifiée du joint retenue par EDF dans son étude ne permet pas de prendre en compte l'évolution du comportement local des joints du TAM, notamment de ses propriétés de retour élastique en conditions d'accident grave, et d'appréhender la perte d'étanchéité du TAM au cours de l'AG.**

Les déformations différées de l'enceinte dues au fluage et au retrait du béton, ainsi qu'à la précontrainte sont évaluées sur la base des mesures de déformations d'une enceinte du palier P4 qui ont été extrapolées à 60 ans.

L'IRSN observe que ce modèle ne considère pas les sollicitations thermomécaniques induites par le chargement de l'accident grave sur la virole et ses effets sur la bride du tampon, ce qui est jugé conservatif par EDF vis-à-vis des écartements des brides virole/tampon. Sans argument fondé sur une étude spécifique, **l'IRSN doute du caractère enveloppe de cette simplification, et ce pour l'ensemble des enceintes du parc en exploitation d'EDF. Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 présentée en Annexe 2.**

4.2.3. Comportement mécanique du TAM

Pour EDF, la garantie de l'étanchéité du TAM est assurée si les contraintes dans les lacets restent inférieures à la limite élastique de leur matériau constitutif et si les déplacements différentiels entre les deux brides attestent

¹⁰ Pour le palier P4, il existe huit portions de cale discontinue régulièrement réparties sur la bride virole côté intérieur BR comme illustré en bleu sur la figure n° 2 en annexe 3. Ces cales permettent de limiter l'écrasement des joints. Elles servent, en outre, d'écran contre les rayonnements ionisants.

d'un rapprochement au cours de l'AG par rapport à la situation de référence correspondant au TAM fermé serré à 60 ans. Ainsi, les joints restent comprimés en AG, et ce quel que soit leur état de dégradation.

Les résultats des calculs d'EDF indiquent que, dans toutes les configurations étudiées, l'état de contrainte dans les lacets est satisfaisant et qu'il y a rapprochement des brides entre elles à l'exception de la configuration TAM P4 avec cales discontinues. Dans cette configuration¹¹, d'une part les lacets sont caractérisés par une plastification en peau qualifiée de légère par EDF et d'autre part, au niveau du joint côté intérieur BR, un écartement inférieur au dixième de millimètres a été mis en évidence dans les zones sans cale. À cet égard, l'IRSN estime qu'EDF devrait justifier la résistance des lacets en flexion et en cisaillement et démontrer le respect des exigences de comportement qui leur sont attribuées. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 2 présentée en Annexe 2.**

EDF montre que, au cours de l'AG, au niveau de l'emplacement des deux joints dans le modèle numérique, les brides se rapprochent par rapport à la situation de référence. Ainsi, pour EDF, l'étanchéité du TAM en AG est acquise.

De manière générale, l'IRSN considère qu'un rapprochement des brides ne saurait, à lui seul, être un gage de la bonne étanchéité du TAM. En effet, lors du retour, après AG, aux conditions de l'état d'écartement des brides de la situation de référence (TAM fermé serré à 60 ans), l'étanchéité dépend des propriétés intrinsèques des joints qui ont été altérées de manière irréversible au cours de l'accident. Le joint n'étant pas explicitement modélisé, cet aspect n'a pas pu être analysé par EDF.

Sur la base des résultats de ses propres essais et de ses simulations numériques qui prennent en compte une modélisation explicite des joints, l'IRSN constate que l'étanchéité dépend de la capacité de retour élastique du joint dans son environnement géométrique, notamment caractérisé par l'état d'écartement et les défauts de planéité des brides, et de ses dimensions résultant des tolérances dimensionnelles de fabrication. À la fin de l'expertise, EDF s'est engagé à présenter, d'ici juin 2022, un état des lieux de l'état d'écartement inter-brides des TAM du parc en exploitation et à démontrer l'étanchéité du TAM à l'issue de la phase de refroidissement de l'AG. Sa démonstration tiendra compte des profils pression/température applicables en AG et des tolérances dimensionnelles. Le cas échéant, EDF imposera un resserrement des tolérances en fonction des conclusions de l'analyse. **Ces engagements répondent en partie aux attentes de l'IRSN, ce qui est satisfaisant.**

Néanmoins, EDF ne précise pas comment seront pris en compte le comportement local des joints et les spécificités des dispositifs d'étanchéité des réacteurs de chaque palier.

À la demande de l'ASN, EDF a transmis un premier cas d'application de sa démarche pour le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire du Tricastin. Selon EDF, en considérant une DRC* égale à 95 % et une décroissance linéaire du taux de compression limite¹² avec la pression de sollicitation, c'est-à-dire celle régnant dans l'enceinte de confinement, l'étanchéité du TAM de ce réacteur est assurée à l'issue de l'AG avec des marges confortables vis-à-vis des taux de compression limite à atteindre.

L'IRSN considère qu'il est acceptable de retenir une relation linéaire entre le taux de compression limite et la pression de sollicitation pour un joint pas ou peu irradié. Cependant, l'IRSN estime que cette relation peut être remise en cause pour des joints fortement irradiés susceptibles de présenter des déformations permanentes. Ainsi, l'IRSN considère qu'EDF doit compléter son analyse et démontrer, en fonction des niveaux d'irradiation subis par les joints au cours de l'accident grave, la pertinence de la relation linéaire retenue entre le taux de compression limite assurant l'étanchéité du TAM et la pression de sollicitation. Cette analyse ne devra pas être limitée à la situation à l'issue de l'AG mais devra être réalisée pour toute la durée de l'accident. En effet, durant

¹¹ Dans le cadre de la modification PNPP 2585, ces tronçons de cale discontinue vont être remplacés par une cale circconférentielle continue protégeant complètement le joint d'étanchéité côté intérieur BR des agressions et des rayonnements.

¹² Le taux de compression limite du joint est celui en-dessous duquel l'étanchéité n'est plus assurée. L'existence de ce taux de compression limite a été mise en évidence par les études de l'IRSN.

la phase de refroidissement, les situations caractérisées par des variations importantes de pression entre l'intérieur et l'extérieur du BR sont également celles pour lesquelles les risques de fuite sont accrus.

In fine, l'IRSN considère que la démonstration du bon comportement des joints en situation d'accident grave n'est à ce stade acquise pour aucun des réacteurs du parc en exploitation d'EDF alors que les conséquences radiologiques associées à des fuites des TAM ne sont pas acceptables (rejets directs). **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 présentée en Annexe 1.**

5. PERTINENCE DES RÉPONSES D'EDF AUX DEMANDES DE L'ASN

5.1. DEMANDE N° 1

En réponse à la demande de l'ASN de vérifier que la DRC des joints permet de garantir l'étanchéité du TAM, en tenant compte notamment de l'effet des déformations de l'enceinte en conditions d'AG, EDF a indiqué qu'il considère que l'étanchéité du TAM n'est pas remise en cause en AG, et ce qu'elle que soit la DRC* du joint au cours de l'accident. EDF s'appuie, d'une part sur les résultats de sa campagne d'essais, pour lesquels les mesures de DRC* ont été réalisées a posteriori (après AG) sur des joints positionnés dans des gorges, mais ne simulant pas les déformations de l'enceinte, d'autre part sur les résultats fournis par son modèle numérique du comportement mécanique du TAM en AG qui prend en compte les déformations de l'enceinte mais sans modélisation explicite du joint.

Pour l'IRSN, il n'est pas acceptable de justifier l'étanchéité du TAM en AG en décorrélant l'analyse de la DRC* des joints des déformations de l'enceinte et la réponse d'EDF n'est pas satisfaisante. En effet, la DRC* traduit le comportement du joint en termes de retour élastique à l'issue de l'AG. Elle dépend, d'une part de l'évolution des caractéristiques de la silicone du joint en fonction de la température, de l'irradiation et de la pression de serrage, d'autre part de l'évolution de l'environnement mécanique des joints (fluage, déformations différées et déformations de l'enceinte en AG).

À la fin de l'expertise, et comme déjà mentionné au § 4, EDF s'est engagé à démontrer l'étanchéité du TAM à l'issue de la phase de refroidissement de l'AG en tenant compte de l'état d'écartement des brides, des profils pression/température applicables en AG et des tolérances dimensionnelles, mais sans préciser comment sera pris en compte le comportement local des joints caractérisés par leur DRC*. L'IRSN souligne que cette démonstration devra considérer les différents points mentionnés dans la recommandation n° 1 présentée en Annexe 1.

En outre, compte tenu de l'effet très défavorable de l'irradiation sur le comportement du joint en condition d'accident grave, l'IRSN considère qu'une protection du joint serait de nature à améliorer considérablement l'étanchéité du TAM et à réduire les risques de perte de confinement des enceintes. Pour EDF, les seules solutions envisageables de protection complémentaire des joints contre l'irradiation ne permettraient pas de réduire suffisamment les doses résultantes reçues par les joints en AG, et d'espérer pouvoir réduire significativement leur DRC*. Ainsi, EDF n'envisage aucune protection complémentaire au droit des joints du TAM. **Pour l'IRSN, il est nécessaire de poursuivre les travaux en vue de déterminer une solution de protection des joints du TAM en considérant l'ensemble des dispositions envisageables. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 présentée en Annexe 1.**

5.2. DEMANDE N° 2

En réponse à la demande de l'ASN de prendre en compte les effets des tolérances dimensionnelles de fabrication dans la méthode de qualification des joints, EDF a indiqué qu'il n'est pas nécessaire de réaliser une étude de sensibilité sur les effets des variations dimensionnelles des joints sur leur comportement en AG du fait des tolérances de fabrication. EDF s'appuie d'une part sur les résultats des essais menés lors de la campagne d'essais réalisée entre 2012 et 2014 et d'autre part sur des arguments qualitatifs relatifs au taux de remplissage des

gorges par les joints. Ainsi, EDF considère que l'étanchéité du TAM est acquise en AG quelle que soit la hauteur du joint dans sa gorge, hauteur respectant les tolérances de fabrication.

L'IRSN considère que les tolérances dimensionnelles sur la hauteur des joints impactent directement les volumes initiaux de ces joints, leur taux de remplissage et leur taux de compression dans leur gorge. La variation de ces paramètres associée à la prise en compte d'un écartement entre les brides et à l'effet préjudiciable de l'irradiation sur le comportement des joints peut directement influencer l'étanchéité du TAM en conditions d'accident grave, notamment lors de la phase de refroidissement. **Ainsi, la réponse d'EDF à la demande n° 2 de l'ASN n'est pas satisfaisante.**

À la fin de l'expertise, EDF s'est engagé à prendre en compte, dans la démonstration du comportement des joints en AG attendue pour juin 2022, les tolérances de fabrication. L'IRSN rappelle que la nature de la démonstration attendue en juin est celle portée par la recommandation n° 1 présentée en Annexe 1.

Par ailleurs, l'IRSN souligne que, pour ce qui concerne les tolérances de fabrication, la nouvelle norme en vigueur est plus permissive que l'ancienne pour un même niveau de précision. L'IRSN estime que, le cas échéant, EDF doit proposer une démarche industrielle permettant de resserrer les tolérances de fabrication des joints du TAM. **EDF s'est engagé à évaluer la pertinence de ce resserrement dans son analyse du comportement des joints en AG attendue pour juin 2022, ce qui est satisfaisant.**

5.3. DEMANDE N° 3

En réponse à la demande de l'ASN portant sur l'impact des conditions d'entreposage des joints sur la méthode de qualification, EDF a indiqué qu'il considère que les conditions (température, hygrométrie et luminosité contrôlées) et les durées (inférieures à 10 ans) d'entreposage des joints ne conduisent pas à une détérioration prématurée de la silicone des joints et, par la suite, à une perte d'étanchéité des joints montés dans leur gorge en cas d'accident. Elles sont adaptées et ne nécessitent pas d'évolution. En effet, après 10 ans d'entreposage, les caractéristiques mécaniques des joints sont proches de celles d'un joint neuf dans les conditions de stockage imposées par EDF. **La position d'EDF n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.**

Par ailleurs, depuis 2019, les nouveaux joints sont à présent livrés raboutés par vulcanisation à chaud en usine et prêts à être montés sur site alors que la pratique précédente consistait à découper le joint et à le coller à froid une fois monté dans sa gorge. Cette modification de pratique permet de ne pas créer de zone de fragilité au droit du collage, zone dont les propriétés pourraient être plus dégradées qu'en zone courante en condition d'accident grave, **ce qui est satisfaisant.**

6. SUFFISANCE DES DISPOSITIONS DE SURVEILLANCE EN EXPLOITATION

Des contrôles sur le TAM sont prévus au titre du chapitre IX des règles générales d'exploitation (RGE) et dans les procédures d'ouverture/fermeture du TAM.

L'IRSN constate que l'exigence d'étanchéité du TAM vérifiée au titre du chapitre IX des RGE à la dernière fermeture du tampon avant le redémarrage du réacteur fait l'objet d'un critère de groupe A¹³ sur les réacteurs du palier de 900 MWe et d'un critère de groupe B¹⁴ sur les autres paliers. Pour l'IRSN, les conséquences des rejets directs d'activité dans l'environnement qui seraient induits par une inétanchéité du TAM en situation

¹³ Sont classés en groupe A les critères d'essais (ou actions) dont le non-respect compromet un ou plusieurs objectifs de sûreté nucléaire.

¹⁴ Sont classés en groupe B les critères d'essais dont l'évolution est caractéristique de la dégradation d'un équipement ou d'une fonction sans que pour cela ses performances ou sa disponibilité soient, après analyse, systématiquement remises en cause pendant la durée de la mission.

accidentelle justifient que le critère RGE à affecter à l'essai d'étanchéité soit de groupe A sur l'ensemble des paliers. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en Annexe 1.**

En outre, l'IRSN note que les procédures d'ouverture et/ou de fermeture du TAM pour les différents paliers prévoient des contrôles visuels qui peuvent éventuellement conduire au remplacement des joints ou à la rectification des états de surface des brides si les anomalies détectées sont considérées comme nocives. **L'IRSN souligne à cet égard les disparités existantes concernant la définition des critères à respecter en fonction des paliers.** L'IRSN rappelle que l'étanchéité du TAM ne pourra être garantie en situation accidentelle que si le joint et les surfaces des brides du TAM ne présentent pas de dégradation. En conséquence, l'IRSN estime qu'ils doivent répondre à des exigences fortes de non-dégradation déclinées, selon leur type, dans le recueil des prescriptions pour le maintien de la qualification. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 4 présentée en Annexe 1.**

Enfin, pour les réacteurs du palier P'4, la fermeture du TAM est opérée au moyen d'un système de serrage centralisé hydraulique. Un serrage manuel des clames du TAM est toutefois prévu en cas d'indisponibilité de ce système. La valeur du couple de serrage manuel n'a pas été justifiée par EDF. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 3 présentée en Annexe 2.**

7. CONCLUSION

En conclusion de son expertise, l'IRSN rappelle tout d'abord l'enjeu de sûreté associé au maintien de l'étanchéité du TAM : une insuffisance du comportement des joints en conditions d'accident grave conduirait à une dégradation de l'étanchéité de l'enceinte de confinement et à un risque de rejet direct d'activité dans l'environnement.

Pour démontrer l'étanchéité du TAM en conditions d'accident grave, EDF s'appuie sur des essais et des simulations numériques, mais il considère indépendamment l'évolution du comportement du joint et de la géométrie du système d'étanchéité en conditions accidentelles, ce qui n'est pas satisfaisant. De plus, EDF n'a pas étudié spécifiquement l'influence des tolérances de fabrication des joints sur leur comportement en situation d'accident grave. Ainsi, l'IRSN considère que la démonstration de l'étanchéité du TAM en conditions d'accident grave n'est actuellement pas acquise et qu'EDF doit apporter des compléments.

En tout état de cause, compte tenu de l'effet préjudiciable de l'irradiation sur le comportement des joints, l'IRSN estime qu'EDF doit mettre en place des dispositions permettant de les protéger.

Enfin, l'IRSN estime que la surveillance de l'état des brides et des joints en exploitation doit être renforcée.

Ces différents points ont amené l'IRSN à formuler des recommandations, dont la prise en compte est nécessaire afin de pourvoir statuer sur l'étanchéité du TAM en conditions d'accident grave.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00039 DU 24 FÉVRIER 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF démontre que les joints du TAM des enceintes du parc en exploitation conservent leur étanchéité en accident grave et en situation post-accidentelle en prenant en compte, de manière conjointe, les écartements entre brides, la variabilité résultant des tolérances dimensionnelles de fabrication des joints, les environnements réels des joints dans leur gorge, les spécificités des systèmes de fermeture du TAM, ainsi que l'évolution du comportement local des joints, notamment en fonction de l'irradiation.

De plus, compte tenu de l'importance, pour la pertinence de la démonstration, de la connaissance de l'état d'écartement entre brides, l'IRSN recommande qu'EDF justifie la périodicité de réalisation des mesures d'écartement entre brides figurant dans les procédures d'exploitation en vigueur et les critères associés.

Recommandation n° 2

Compte tenu de l'effet très défavorable de l'irradiation sur le comportement des joints du TAM en situation d'accident grave et post-accidentelle, l'IRSN recommande qu'EDF mette en place des moyens permettant de protéger ces joints contre l'irradiation afin d'améliorer leur comportement.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF définisse comme critères de groupe A au sens du chapitre IX des règles générales d'exploitation les critères d'étanchéité des TAM des paliers de 1300 MWe et 1450 MWe indiqués dans les règles d'essais périodiques du système EPP de contrôle des fuites de l'enceinte.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF complète le recueil des prescriptions pour le maintien de la qualification dans les meilleurs délais pour y intégrer des prescriptions concernant :

- le non-endommagement des joints du TAM (absence de trace de choc, de craquelure, de coupure, ...) ;
- l'absence de dégradation des surfaces des brides du TAM (absence de rayure, de trace de choc, ...).

Le non-respect des critères associés à ces prescriptions devra conduire au remplacement des joints et/ou à la rectification de l'état de surface des brides.

Les contrôles associés à la vérification de ces critères devront être réalisés avant chaque fermeture du TAM lorsque l'exigence d'étanchéité de ce dernier est requise au titre des spécifications techniques d'exploitation.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00039 DU 24 FÉVRIER 2022

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait apporter des éléments de justification démontrant le caractère conservatif, pour l'évaluation de l'écartement des brides virole/tampon, de l'absence de prise en compte de la température dans le calcul des déformations de l'enceinte en AG.

Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait vérifier le bon comportement des lacets des TAM du palier P4 avec des cales discontinues en considérant l'ensemble des efforts les sollicitant (flexion, membrane et cisaillement) au regard des critères de dimensionnement attribués aux lacets compte tenu des exigences de sûreté qui leur sont associées.

Observation n° 3

L'IRSN considère qu'EDF devrait justifier la valeur du couple de serrage à appliquer, en cas d'indisponibilité du système de serrage à commande hydraulique centralisée, sur chacune des clames du TAM du palier P'4.

ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2022-00039 DU 24 FÉVRIER 2022

Figures

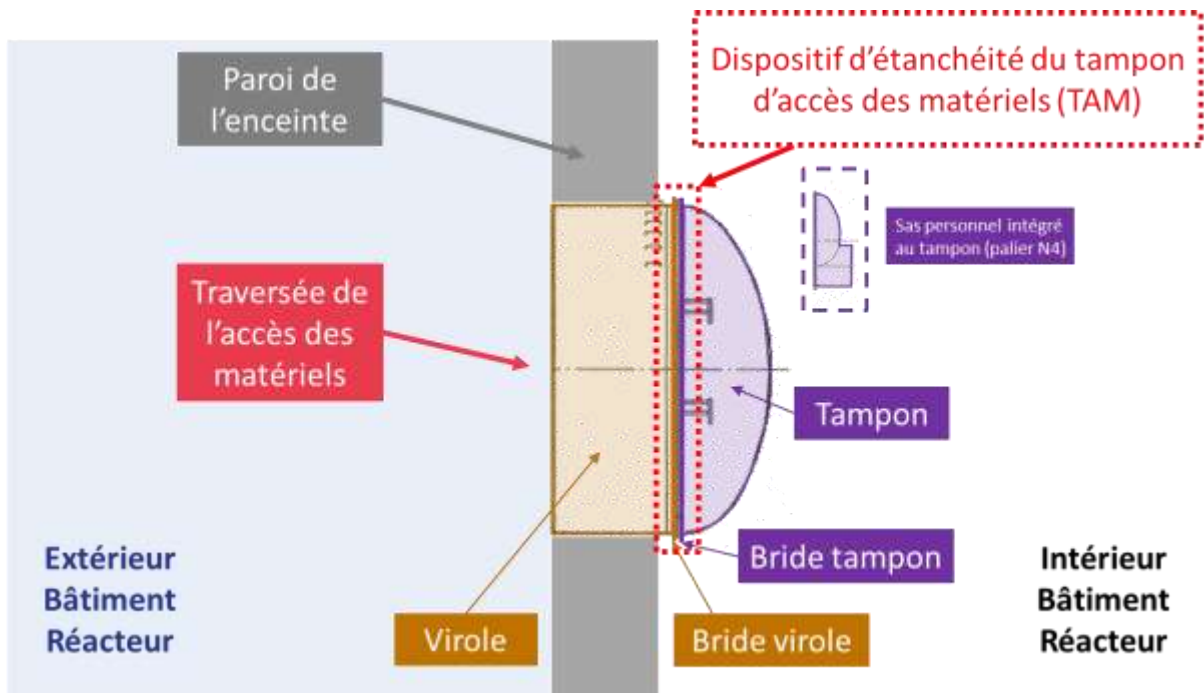


Figure 1. Schéma de principe de la traversée de l'enceinte permettant l'accès des matériels

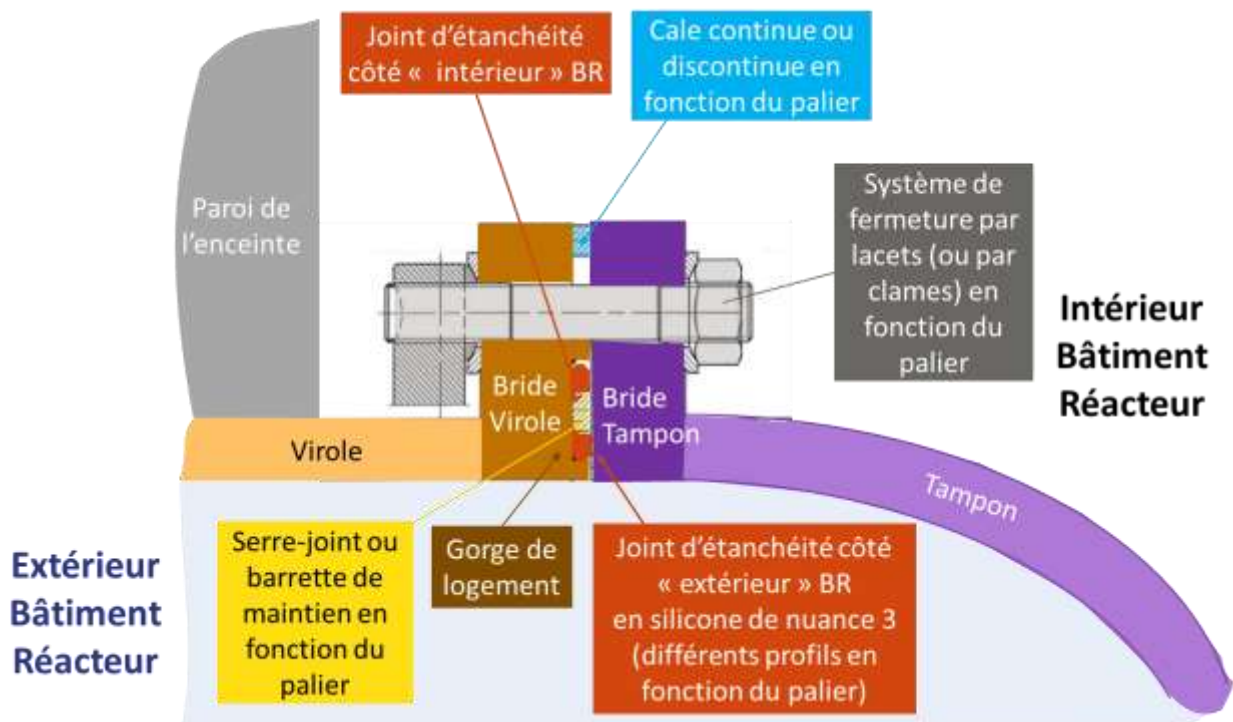
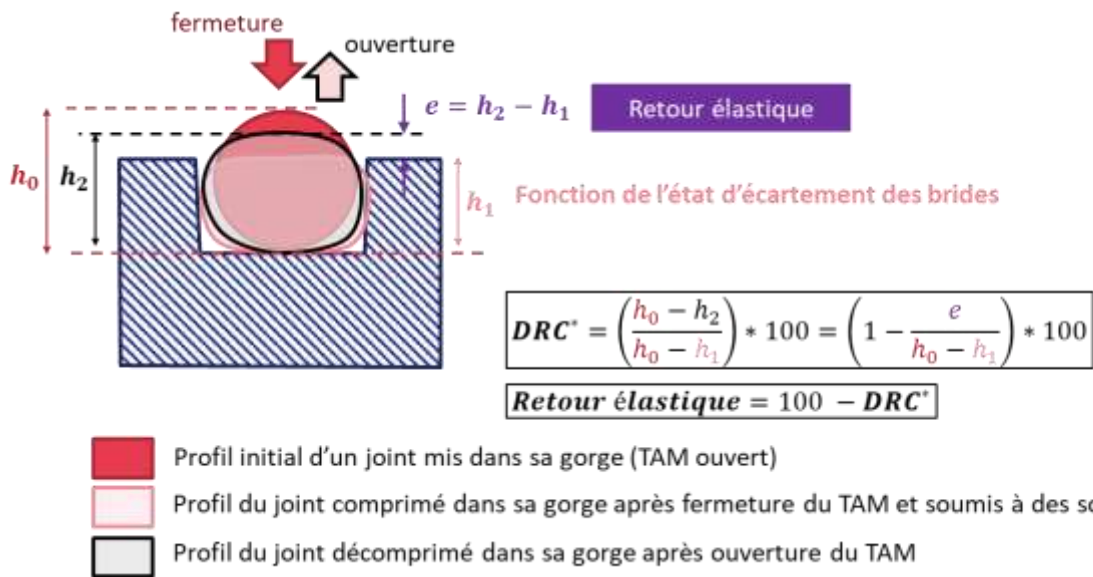


Figure 2. Schéma de principe de l'environnement mécanique du double joint d'étanchéité du TAM d'une enceinte d'un réacteur



La DRC mesure la capacité du joint à reprendre sa forme initiale après sollicitation dans un dispositif spécifié dans une norme. La DRC* est la même grandeur mais mesurée in-situ, c'est-à-dire sur des joints dans leur gorge.

Cas particuliers

DRC* = 0 % : propriété du joint non altérée, comportement élastique (ce cas correspond à un retour élastique = **100 %**)

DRC* = 100 % : propriétés du joint très altérées, comportement plastique avec déformations irréversibles (plus aucune élasticité) (ce cas correspond à un retour élastique = **0 %**)

Figure 3. Définition de la DRC* mesurée après AG