



Fontenay-aux-Roses, le 31 mai 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00091

Objet	EDF – REP – Mise en place d'un dispositif en partie supérieure des guides de grappes afin de limiter l'usure des manchettes thermiques.
Réf.	[1] Saisine ASN - CODEP-DCN-2021-009501 du 19 février 2021. [2] Avis IRSN - 2018-00281 du 19 octobre 2018. [3] Courrier ASN - CODEP-DCN-2020-056994 du 30 novembre 2020.

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué la solution proposée par Électricité de France (EDF) pour limiter l'usure des manchettes thermiques des couvercles de cuve du parc électronucléaire français. Pour cela l'IRSN a expertisé, d'une part, la modification consistant à équiper les tubes guides des grappes de commande¹ (TGG) d'un dispositif dit « compensateur » et, d'autre part, la pertinence de la méthode de contrôle du ligament résiduel en partie supérieure des manchettes thermiques.

1. CONTEXTE

Le 14 février 2018, EDF a déclaré à l'ASN un événement significatif pour la sûreté à caractère générique à la suite de situations de blocage à la manœuvre de grappes de commande situées en position centrale du cœur des réacteurs n° 2 de Saint-Alban et de Belleville-sur-Loire et du réacteur n° 1 de Nogent-sur-Seine.

Après la dépose des couvercles de cuve, des anneaux métalliques détachés appelés « collerettes » entravant la course des grappes ont été identifiés, puis extraits. Ces anneaux proviennent d'une usure des brides supérieures des manchettes thermiques des adaptateurs (Figures 1 à 3 en annexe 3) en position centrale des couvercles.

Le phénomène d'usure prépondérant est l'abrasion entre la manchette thermique et l'adaptateur, sous l'effet d'un mouvement de rotation de la manchette thermique. EDF a considéré qu'un ligament résiduel² d'une épaisseur de 0,5 mm permettait de garantir l'absence de risque de générer une collerette, notamment en cas de

¹ Les grappes de commande, constituées d'un matériau absorbant les neutrons, servent à contrôler la réaction nucléaire dans le cœur du réacteur, en plus de l'ajustement de la concentration en bore de l'eau du circuit primaire.

² Le ligament résiduel correspond à la matière restante au niveau de la bride supérieure de la manchette thermique après usure par abrasion.

sollicitation sismique. EDF en a déduit un critère en termes d'affaissement maximal de la manchette thermique fixé à 39 mm, critère considéré comme acceptable par l'IRSN lors de son évaluation en 2019 [2].

Le suivi de l'usure des manchettes thermiques est réalisé par EDF via la mesure de l'altitude des tulipes situées en pied des manchettes thermiques (Figure 1 en annexe 3), lors de la dépose du couvercle de cuve. La comparaison au critère d'usure maximale de l'affaissement de la manchette thermique permet de déduire le nombre de cycles d'exploitation encore possibles sans risque de formation d'une collerette, moyennant l'utilisation d'une cinétique d'usure pénalisée³.

L'objectif de la stratégie de maintenance d'EDF est de ne jamais atteindre le critère d'usure. La maintenance consiste soit en un remplacement des manchettes thermiques, soit en la mise en œuvre de compensateurs (Figure 4 en annexe 3) permettant de ralentir voire d'arrêter le phénomène d'usure.

La stratégie de maintenance doit garantir le maintien des fonctions de chaque manchette thermique. Chacune d'elles assure une fonction de protection thermique du tube de l'adaptateur du couvercle de cuve (notamment ses zones sensibles, à savoir la soudure J-Groove et le joint Canopy, Figure 1 en annexe 3) et une fonction de guidage de la tige de commande des grappes. De plus, la manchette thermique reposant libre en translation et en rotation selon la direction verticale, sur la bride du tube d'adaptateur (Figure 1 en annexe 3), elle joue également un rôle de clapet hydraulique lors des mouvements des grappes de commande. En particulier, le soulèvement des manchettes thermiques libère une section de passage pour le fluide primaire ascendant lors de la chute des grappes de commande consécutive à un arrêt automatique du réacteur (AAR). Ce mouvement réduit les pertes de charge et contribue à la maîtrise du temps de chute des grappes qui est un paramètre essentiel de disponibilité de la fonction d'AAR.

2. PROTECTION THERMIQUE DES SOUDURES DE L'ADAPTATEUR

Pour éviter, lors du fonctionnement du réacteur, une circulation d'eau « froide » provenant des mécanismes de commande de grappe et susceptible de mettre en cause la fonction de protection thermique de la manchette thermique, les compensateurs installés ne doivent pas soulever les manchettes thermiques. Compte tenu de l'ensemble des contraintes à respecter, EDF a déterminé pour les réacteurs de 1300 MWe⁴ l'affaissement maximal d'une manchette thermique permettant la mise en place d'un compensateur (33,85 mm).

Cette limite a été établie de manière à éviter le soulèvement de la bride de la manchette thermique de son adaptateur lorsque le réacteur fonctionne à pleine puissance. Or la réduction de la distance séparant les compensateurs et les tulipes des manchettes thermiques, due aux phénomènes de dilatation différentielle, est plus importante lorsque le réacteur est dans un état d'arrêt à chaud ou à un niveau de puissance intermédiaire. Dans ces états, il n'est donc pas exclu que la bride de la manchette thermique se soulève de son adaptateur et que de l'eau froide puisse s'écouler par le jeu créé, impliquant ainsi un risque de rupture brutale par choc thermique froid de la soudure J-Groove et du joint Canopy. La rupture de la soudure J-Groove par choc thermique froid est toutefois considérée comme peu probable par EDF compte tenu du très faible soulèvement envisageable ainsi que du différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la manchette thermique, défavorable à l'écoulement de l'eau « froide ». En ce qui concerne le risque de choc thermique froid de la soudure J-Groove, l'IRSN estime effectivement que le différentiel de pression permet de limiter l'arrivée d'eau froide dans ce canal, et donc le risque d'un choc froid sur la soudure J-Groove. En revanche, la localisation du joint Canopy ne lui permet pas d'être protégé par le différentiel de pression. EDF a réalisé une analyse du comportement en

³ La cinétique d'usure pénalisée correspond à la cinétique de la manchette thermique la plus usée pour un couvercle de cuve donné, sur laquelle EDF applique un conservatisme arbitraire supplémentaire de 10 %. Il existe une cinétique d'usure par réacteur (effet de la thermo-hydraulique locale).

⁴ Des études similaires pour les réacteurs de 900 MWe et de 1450 MWe seront réalisées par EDF pour déterminer l'affaissement maximal d'une manchette thermique permettant la mise en place d'un compensateur sur ces réacteurs.

fatigue du joint Canopy dans des conditions enveloppe des conditions thermohydrauliques possibles dans tous les états de fonctionnement du réacteur afin d'écartier tout risque d'amorçage d'une fissure. Après avoir examiné les calculs réalisés par EDF, les paramètres ainsi que les transitoires thermiques considérés, l'IRSN estime que la justification apportée est satisfaisante.

3. DIMENSIONNEMENT DU COMPENSATEUR

Capacité du compensateur à empêcher la formation d'une collerette

Pour limiter au plus tôt l'usure des manchettes thermiques une fois les compensateurs installés, il est nécessaire de minimiser, dès l'installation, la distance séparant les compensateurs des tulipes des manchettes thermiques. Ainsi, EDF a prévu, pour les réacteurs de 1300 MWe, 13 types de compensateurs (N1 à N13), d'épaisseurs différentes. La distance résiduelle diminuera ensuite progressivement, par usure des manchettes thermiques, jusqu'à l'accostage des tulipes sur les compensateurs. Néanmoins, pour les compensateurs les moins épais, une sous-estimation de cette distance pourrait conduire l'affaissement des manchettes thermiques à dépasser le critère d'usure maximale de 39 mm.

Pour écartier ce risque, EDF a vérifié, en considérant de plus une usure additionnelle de la manchette thermique après son accostage sur le compensateur, que la prolongation de l'usure après l'installation du compensateur le moins épais (type N1) ne conduirait pas au dépassement du critère. En effet, même après accostage, la prolongation du phénomène d'usure par abrasion, avec une cinétique réduite, ne peut être exclue. À cet égard, EDF a prévu sur les compensateurs des témoins d'usure pour suivre l'évolution de l'usure additionnelle. Un examen télévisuel (ETV) des compensateurs est prévu une première fois après un cycle de fonctionnement suivant leur installation, et ensuite avec une périodicité maximale de trois cycles.

Compte tenu de la faible marge d'usure (1 mm) avec laquelle EDF exclut le risque de formation d'une collerette après installation d'un compensateur, l'IRSN émet des réserves sur l'évaluation de certaines incertitudes intervenant dans l'évaluation d'EDF. En particulier, en l'absence de retour d'expérience, l'IRSN estime que la valeur d'usure additionnelle retenue par EDF ne peut pas être considérée comme conservative. À cet égard, au cours de l'expertise, EDF a proposé de procéder à un suivi en service rapproché des manchettes thermiques sous lesquelles des compensateurs de type N1 auront été installés. La proposition d'EDF permettra effectivement d'obtenir des données sur la cinétique d'usure après accostage et donc de réduire les incertitudes. Néanmoins, l'IRSN considère que cette stratégie de maintenance nécessite d'être consolidée et que les détails de sa mise en œuvre doivent être clarifiés. L'IRSN estime également que le suivi renforcé envisagé doit être étendu aux compensateurs de type N2 afin de couvrir les incertitudes mises en avant au cours de l'analyse. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe 1.**

Comportement mécanique du compensateur

Le compensateur installé est fixé à la plaque de logement du TGG par l'intermédiaire d'une liaison vissée. La résistance mécanique de cette liaison est un élément important eu égard au risque de générer des corps migrants. Les éléments apportés par EDF pour justifier que la résistance mécanique de la liaison vissée est suffisante pour exclure le risque de rupture n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'IRSN rappelle toutefois que deux vis de groupes motopompes primaires (GMPP) de réacteurs de 1450 MWe, en acier inoxydable écroui de même nuance que les vis des compensateurs, ont fissuré par corrosion sous contrainte en milieu primaire. **Concernant ce risque de corrosion, l'IRSN émet l'observation n° 1 en annexe 2.**

4. GUIDAGE DES TIGES DE COMMANDE

Les tiges de commande et les TGG ont pour fonction de guider l'insertion des grappes dans le cœur. EDF considère que le diamètre de l'ouverture des compensateurs, supérieur à celui de l'ouverture des plaques de

logement des TGG, permet d'exclure le risque que les compensateurs n'entraient la course des tiges de commande. Ce point n'amène pas de remarque de la part de l'IRSN.

Concernant les usinages réalisés sur la plaque de logement des TGG, EDF considère que leur profondeur n'est pas de nature à affecter son comportement mécanique, ni celui de la soudure avec les TGG. En effet, les trous percés et taraudés, pour permettre la liaison vissée avec le compensateur, et les encoches, usinées pour libérer une section de passage pour le fluide, ne sont pas traversants. Ce point n'amène pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'installation du compensateur expose cependant le TGG à un chargement lié, d'une part, à une masse additionnelle du fait de la mise en place d'un compensateur et, d'autre part, aux fluctuations de l'écoulement du fluide au niveau l'ensemble du TGG et de sa plaque de logement. Si les premières études menées sur ce point par EDF concluent à un impact négligeable, des calculs plus précis sont néanmoins en cours et mériteront une analyse une fois disponibles.

5. RISQUE DE MODIFICATION DU TEMPS DE CHUTE DES GRAPPES

L'écoulement entre les TGG et les tulipes des manchettes thermiques étant modifié par la pose des compensateurs, le temps de chute des grappes pourrait être allongé. Selon les estimations d'EDF tenant compte de conditions pénalisantes, la variation du temps de chute des grappes susceptible d'être induite par la mise en place d'un compensateur n'est pas significative (inférieure à 0,05 seconde). Il existe cependant des incertitudes concernant les hypothèses, les modélisations et la validation des outils utilisés pour cette estimation. À ce titre, l'IRSN considère qu'EDF devrait, en complément d'une démarche analytique, apporter des éléments d'exploitation permettant de conforter son estimation.

À cet égard, l'IRSN note qu'en 2020, les TGG de plusieurs réacteurs⁵ ont reçu des compensateurs. Parmi eux, certains réacteurs⁶ ont fait l'objet, dans le cadre d'un autre dossier, d'une demande de l'ASN [3] d'essais de temps de chute des grappes supplémentaires par rapport à ceux réalisés à chaque cycle pour s'assurer du maintien de la disponibilité de l'AAR. À ce titre, l'IRSN estime qu'EDF devrait considérer ces données d'exploitation dans son évaluation de l'impact des compensateurs sur le temps de chute des grappes. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 2 en annexe 2.** De plus, dans le cas où ces essais supplémentaires mettraient en évidence un allongement du temps de chute des grappes, l'IRSN estime qu'EDF devrait alors étendre ces essais supplémentaires aux réacteurs n° 2 de Cattenom et de Nogent-sur-Seine.

D'autre part, les pertes de charge hydraulique lors de la chute d'une grappe seront plus importantes une fois la manchette thermique accostée sur le compensateur du fait de la diminution de la section de passage du fluide ascendant. En conséquence, l'IRSN estime que l'absence d'impact significatif sur le temps de chute de grappe de l'accostage d'une manchette thermique sur un compensateur ne pourra être confirmée qu'après un nombre suffisant de cas d'accostage constatés. L'IRSN considère que la stratégie d'EDF de réalisation des ETV des compensateurs doit être définie en conséquence. Or, les incertitudes portant sur la distance séparant les tulipes des manchettes thermiques et les compensateurs au moment de la fermeture de la cuve du réacteur ainsi que sur la cinétique d'usure après mise en place des compensateurs rendent difficile l'évaluation des délais avant accostage. Compte tenu de ces incertitudes, l'IRSN considère que la stratégie actuelle d'EDF ne garantit pas de détecter au plus tôt l'accostage. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 en annexe 1.**

⁵ Les réacteurs concernés sont les réacteurs n° 2 et n° 4 de Cattenom, le réacteur n° 2 de Nogent-sur-Seine, le réacteur n° 1 de Belleville-sur-Loire et le réacteur n° 3 de Paluel.

⁶ Les réacteurs concernés sont les réacteurs n° 4 de Cattenom, n° 1 de Belleville-sur-Loire et n° 3 de Paluel.

6. PERTINENCE DE LA MÉTHODE DE CONTRÔLE DIMENSIONNEL DU LIGAMENT RÉSIDUEL

La stratégie de maintenance déployée par EDF repose principalement sur des mesures d'altitude pour évaluer le niveau d'affaissement des tulipes des manchettes thermiques. Cependant, en cas d'affaissement important, nécessitant un remplacement de la manchette thermique à court terme selon la stratégie de maintenance, EDF peut mettre en œuvre des essais non destructifs par procédé ultrasonore (UT) pour mesurer directement l'épaisseur du ligament résiduel afin de justifier le maintien en l'état pour un cycle de fonctionnement supplémentaire. La justification du conservatisme de cette démarche découle de la marge par rapport à l'épaisseur minimale du ligament résiduel. Cette marge est estimée à partir du critère d'usure, de la cinétique d'usure pénalisée et de l'épaisseur du ligament restant sur la manchette thermique mesurée par le procédé UT. L'IRSN n'a pas de remarque concernant cette démarche de justification.

Le procédé développé par EDF est un examen non destructif par ultrasons permettant, selon EDF, de mesurer des épaisseurs de ligaments comprises entre 2 mm et 7 mm. De plus, EDF a estimé l'incertitude de mesure à $\pm 0,6$ mm à partir d'essais de répétabilité et de reproductibilité réalisés avec des pièces ayant des profils d'usure représentatifs des observations faites sur le parc. À l'issue de son expertise, compte tenu du fait que ce procédé UT est appliqué uniquement à des profils d'usure avec des faciès lisses et sans dépôt, et sous réserve que la procédure de contrôle comprenne des consignes permettant d'assurer le positionnement optimal de la sonde, l'IRSN estime que le contrôle est adapté pour mesurer l'épaisseur du ligament restant entre 2 mm et 7 mm avec une incertitude de $\pm 0,6$ mm pour les couvercles de cuve des réacteurs de 1300 MWe.

7. CONCLUSION

En conclusion de son expertise, et sous réserve de la prise en compte des recommandations n° 1 et n° 2 formulées en annexe 1, l'IRSN estime acceptable pour les réacteurs de 1300 MWe, du point de vue de la sûreté, la modification consistant à équiper les TGG de compensateurs ainsi que la méthode de contrôle dimensionnel du ligament résiduel.

Pour étendre l'installation de compensateurs et la méthode de contrôle du ligament résiduel aux réacteurs de 900 MWe et de 1450 MWe, EDF devra toutefois apporter des justifications analogues à celles transmises pour les réacteurs de 1300 MWe.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Olivier DUBOIS

Directeur Adjoint de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2021-00091 DU 31 MAI 2021

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

Afin de prévenir le risque de détachement d'une collerette au niveau de la bride supérieure de la manchette thermique lors du fonctionnement des réacteurs de 1300 MWe, l'IRSN recommande qu'EDF précise dans sa stratégie de maintenance le suivi en service renforcé qu'il envisage pour les compensateurs de type N1 et l'étende aux compensateurs de type N2 avant la mise en place des compensateurs des types N1 et N2.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, pour tous les réacteurs ayant installé des compensateurs, des ETV de ces derniers à la fin de chaque cycle suivant leur installation jusqu'à ce que l'absence d'impact significatif des compensateurs sur le temps de chute des grappes soit confirmé.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2021-00091 DU 31 MAI 2021

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN considère qu'EDF devrait évaluer la nécessité d'établir une limite du taux d'écaillage admissible à la fabrication des vis de fixation des compensateurs compte tenu du phénomène de corrosion sous contrainte constaté sur des vis de GMPP de réacteurs de 1450 MWe.

Observation n° 2

L'IRSN considère qu'EDF devrait le cas échéant exploiter les résultats issus des essais supplémentaires de temps de chute des grappes, qui seront réalisés dans le cadre du dossier « protective grid » sur le réacteur n° 1 de Belleville-sur-Loire, n° 4 de Cattenom et n° 3 de Paluel, pour pouvoir détecter un éventuel impact des compensateurs sur le temps de chute des grappes.

ANNEXE 3 A L'AVIS IRSN N° 2021-00091 DU 31 MAI 2021

Figures

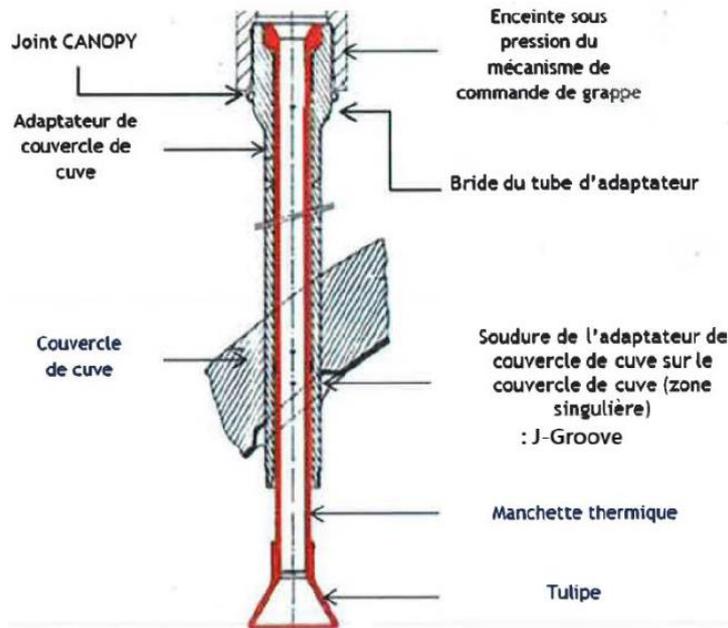


Figure 1. Schéma d'un adaptateur de couvercle de cuve et de sa manchette thermique (en rouge)

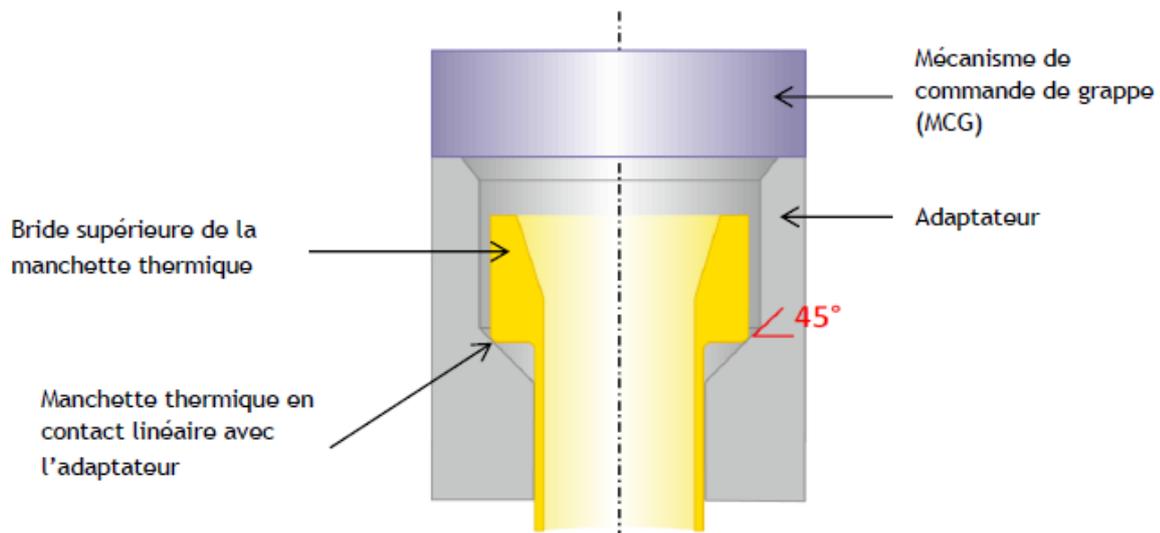


Figure 2. Schéma de la bride supérieure de la manchette thermique reposant sur le chanfrein à 45° de l'adaptateur.

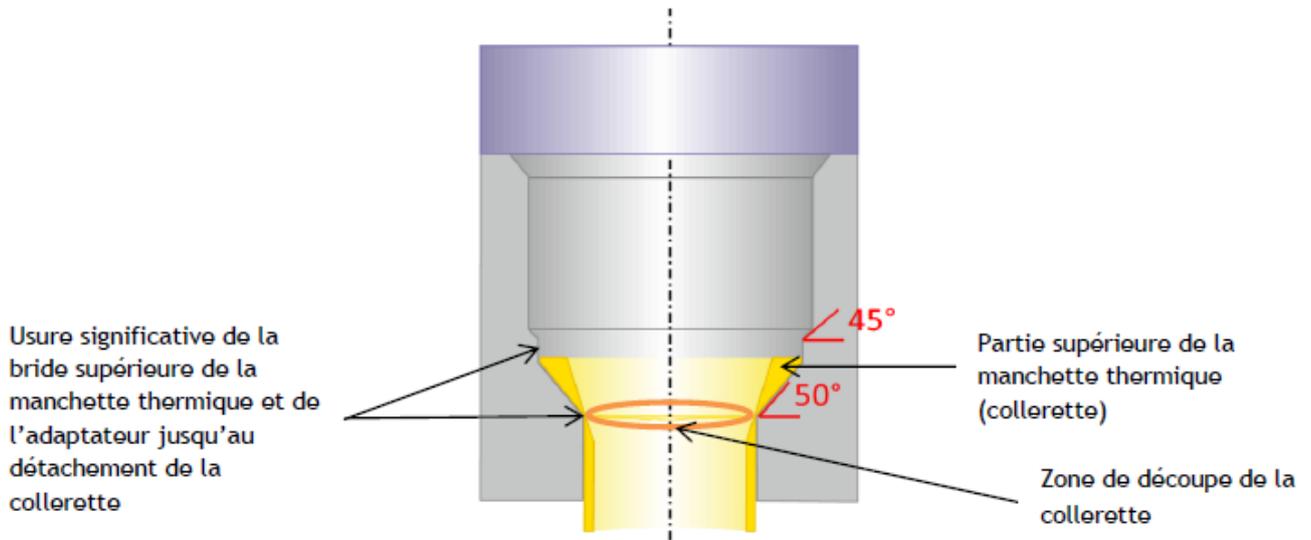


Figure 3. Schéma représentatif d'une usure significative de la bride supérieure de la manchette thermique et de l'adaptateur.

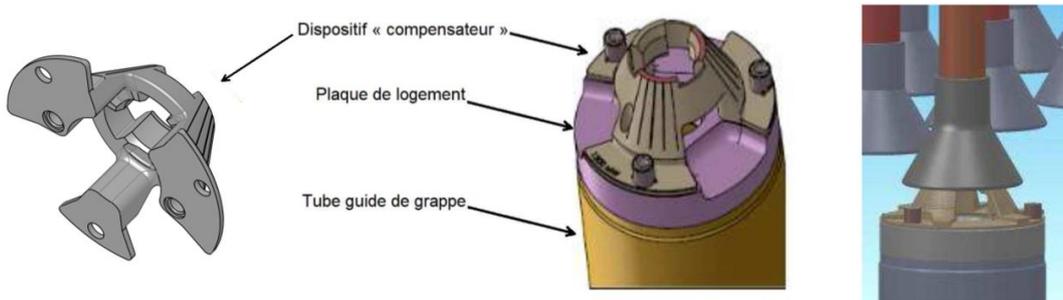


Figure 4. TGG équipé d'un dispositif compensateur.