

Fontenay-aux-Roses, le 19 octobre 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2018-00281

Objet : EDF - REP - Méthodologie et critère d'usure des manchettes thermiques des adaptateurs de couvercle de cuve.

Réf. [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-040584 du 3 août 2018.  
[2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-043381 du 30 août 2018.

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué la note d'EDF dite « de méthodologie et de critère d'usure des manchettes thermiques des adaptateurs de couvercle de cuve », applicable à tous les réacteurs du parc électronucléaire.

### Contexte

Le 13 décembre 2017, l'exploitant du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire a constaté un blocage à la manœuvre de la grappe de commande<sup>1</sup> située en position centrale du cœur. Cet événement a conduit à l'arrêt du réacteur. Après la dépose du couvercle de cuve, un anneau métallique détaché appelé « collerette » entravant la course de la tige de commande de la grappe a été identifié, puis extrait. Cet anneau provient d'une usure de la bride supérieure de la manchette thermique (Figures 1 à 4 en annexe 2) de l'adaptateur en position centrale du couvercle de cuve.

L'usure de la manchette thermique et de l'adaptateur de couvercle de cuve est mesurée par un contrôle d'altimétrie de la tulipe inférieure de la manchette thermique lors de la dépose du couvercle de cuve.

Les mesures d'altimétrie, déjà réalisées sur la plupart des réacteurs du parc électronucléaire, montrent que cette usure revêt un caractère générique. Aussi, pour tous les réacteurs, EDF réalisera des mesures d'altimétrie de l'ensemble des manchettes thermiques du couvercle de

Adresse Courrier  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

Siège social  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre 8 440 546 018

<sup>1</sup> Grappes de commande : pour contrôler la réaction nucléaire dans le cœur du réacteur, l'exploitant dispose de deux moyens principaux : (i) ajuster la concentration de bore dans l'eau du circuit primaire, le bore ayant la propriété d'absorber les neutrons produits par la réaction nucléaire, (ii) introduire les grappes de commande, qui contiennent des matériaux absorbant les neutrons, dans le cœur ou les en retirer. Il convient, en marche normale du réacteur, de maintenir certaines grappes à un niveau suffisant, fixé par les spécifications techniques, d'une part pour que leur chute puisse étouffer efficacement la réaction nucléaire en cas d'arrêt automatique, d'autre part pour assurer une bonne répartition du flux de neutrons.

cuve pendant les arrêts en cours ou lors des prochains arrêts pour renouvellement du combustible prévus.

Pour les paliers 900 MWe et N4, les résultats de ces contrôles d'altimétrie en cours montrent un phénomène d'usure faible ne nécessitant ni de contrôle anticipé ni de réparation à court terme.

A contrario, les contrôles réalisés pour le palier 1300 MWe montrent que l'usure des manchettes thermiques peut être importante, ce qui a notamment entraîné un blocage de grappe de commande pour le réacteur n° 1 de Nogent-sur-Seine le 16 août 2018. Ce blocage est apparu lors de la réalisation d'un essai de temps de chute de grappe réalisé à la demande par l'ASN.

### **Enjeux de sûreté**

Les conséquences potentielles de cet événement sont liées à un manque d'antiréactivité, dû à la non chute d'une ou plusieurs grappes, en cas d'arrêt automatique du réacteur à la suite d'une situation incidentelle ou accidentelle.

Dans ce cadre, pour les réacteurs non encore contrôlés du palier 1300 MWe, l'ASN a demandé à EDF de renforcer ses dispositions d'exploitation afin de mieux détecter le risque de blocage de grappe de commande et d'en limiter les conséquences [2].

Par ailleurs, des études ont été fournies par EDF afin de démontrer que, pour les réacteurs pour lesquels une relecture des inspections télévisuelles de propreté de la plaque supérieure des tubes guides de grappe<sup>2</sup> réalisées lors des derniers arrêts pour renouvellement du combustible laisse suspecter un affaissement notable de la tulipe, les critères des études de dimensionnement et complémentaire sont respectés, en considérant le blocage en position haute d'une grappe de commande.

### **Usure des manchettes thermiques**

EDF a déterminé, à partir de l'ensemble des données mesurées sur site et des expertises réalisées (altimétrie des manchettes et empreintes en élastomère des adaptateurs, particulièrement usés, de couvercle de cuve), la nature du phénomène d'usure, un critère d'usure admissible de la manchette thermique ainsi qu'une cinétique d'usure associée à chaque réacteur.

Sur la base des expertises des manchettes thermiques, EDF retient que 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. Les expertises montrent également que les profils évoluent de manière continue, sans changement notable de forme, au fur et à mesure de l'usure.

Par ailleurs, aucune corrélation n'a pu être établie entre les usures constatées et les mouvements des grappes. En effet, des usures significatives ont été constatées à des positions non grappées<sup>3</sup>. Le débit de by-pass du dôme<sup>4</sup> de la cuve serait à l'origine de la sollicitation de vibration qui induit l'usure. Cependant les paramètres thermo-hydrauliques qui gouvernent le phénomène de dégradation restent difficiles à identifier.

---

<sup>2</sup> Ces inspections télévisuelles permettent de détecter la présence d'une empreinte circulaire sur la plaque supérieure des tubes guides de grappe. Cette dernière témoigne de l'usure d'une manchette et d'un affaissement notable de la tulipe dont la partie basse repose alors sur la plaque supérieure du tube guide de grappe.

<sup>3</sup> Position non grappée : c'est une position qui ne possède pas de grappe de commande. Un couvercle de cuve du palier 1300 MWe comprend 73 adaptateurs de couvercle de cuve avec 73 manchettes thermiques dont huit ne disposent pas d'une tige de commande de grappe. Ces dernières sont dites non grappées.

<sup>4</sup> Débit de by-pass du dôme : c'est une partie du débit global qui sert à refroidir le couvercle de la cuve du réacteur.

Au cours de l'instruction, EDF a pris un engagement relatif à la transmission d'un programme détaillé des actions de recherche et de développement relatif à la connaissance des sollicitations vibratoires des manchettes thermiques, qui est satisfaisant. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 en annexe 1.**

En ce qui concerne la cinétique d'usure, il est vraisemblable que le chargement dû aux interactions entre le fluide et la structure liées à la thermo-hydraulique sous le couvercle de cuve évolue peu du fait de l'usure des manchettes thermiques. Ainsi, une fois la période d'adaptation des surfaces passée, la cinétique d'usure devrait être sensiblement linéaire.

En ce qui concerne l'usure de la manchette thermique et de l'adaptateur associé, EDF retient que les cinétiques d'usure doivent être similaires pour les deux composants puisque les matériaux sont identiques. L'adaptateur de couvercle de cuve étant un composant ESPN<sup>5</sup> de niveau 1, les critères des règles de conception et de construction des matériels mécaniques (RCC-M) doivent être vérifiés dans les sections de sa bride amincies par l'usure. Pour EDF, un dépassement des critères du code RCC-M sur l'adaptateur en vis-à-vis n'est pas à redouter car les marges sont importantes selon l'étude de la résistance mécanique de l'adaptateur usé.

**Les conclusions d'EDF concernant la résistance mécanique des adaptateurs de couvercle n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

#### **Critère d'usure**

Le suivi de l'usure de la manchette thermique est réalisé par la mesure de l'altimétrie des tulipes situées en pied des manchettes thermiques, lors de la dépose du couvercle de cuve. La comparaison de cette altimétrie à un critère d'usure permet de déduire le nombre de cycles restant avant l'apparition du risque de formation d'une « collerette », en prenant en compte une cinétique d'usure. Elle permet également de définir les actions de maintenance nécessaires.

Le critère d'usure doit permettre de définir la limite à ne pas dépasser afin d'exclure la formation de « collerette » et de maintenir la fonctionnalité de la manchette thermique en toute circonstance (chargements normaux et dus au séisme notamment).

La démarche d'établissement du critère d'usure doit ainsi prendre en compte l'ensemble des incertitudes (incertitudes associées aux cotes de fabrication des composants, aux mesures d'altimétrie ainsi qu'à la géométrie réelle de l'usure provenant de l'ensemble des résultats d'expertise disponibles).

Au cours de l'instruction, EDF a pris des engagements relatifs à la prise en compte de la variabilité du phénomène d'usure constatée lors des expertises réalisées. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 2 en annexe 1.**

Sur cette base, EDF a défini un critère d'usure conservatif correspondant à la hauteur d'usure maximale de la bride de la manchette thermique avant détachement d'une « collerette », assurant la tenue mécanique d'un ligament résiduel, notamment sous une sollicitation de séisme. Le critère d'usure in fine retenu par EDF, à savoir 39 mm, est acceptable. Toutefois, des compléments d'études concernant l'effet de la composante horizontale du séisme sont encore attendus qui ne devraient pas remettre en question cette valeur.

---

<sup>5</sup> ESPN : équipement sous pression nucléaire. Les équipements sous pression nucléaires comptent parmi les principaux composants mécaniques des réacteurs électronucléaires. La cuve, qui contient le combustible, et les générateurs de vapeur des réacteurs à eau pressurisée en font notamment partie. Ces équipements sont soumis à des pressions et des températures importantes. Une attention particulière est accordée aux équipements dont la défaillance n'est pas postulée dans les études d'accident comme, par exemple, celle de la cuve des réacteurs.

## Stratégie de maintenance

EDF a prévu de programmer des contrôles d'usure par altimétrie au fil des arrêts pour renouvellement du combustible des réacteurs, ce qui conduira à avoir une vision complète et quantifiée du niveau d'usure des manchettes thermiques des réacteurs du parc électronucléaire français en mars 2019. Ceci est satisfaisant.

Sur la base des résultats des mesures d'altimétrie réalisées sur l'ensemble des couvercles de cuve du parc, EDF propose de classer les manchettes thermiques des positions grappées selon deux types décrits ci-dessous, avec une maintenance différente pour chacun des deux types :

- manchettes de type 1 : toute manchette thermique dont l'usure cumulée (manchette et adaptateur) mesurée (incertitude comprise) est supérieure ou égale au critère d'usure, ou bien qui atteindrait ce critère avant la fin du prochain cycle de fonctionnement, en tenant compte de la cinétique d'usure pénalisée<sup>6</sup> appliquée sur l'ensemble des manchettes du couvercle. Ce type de manchette doit être remplacé avant le redémarrage du réacteur concerné ;
- manchettes de type 2 : les manchettes thermiques qui ne nécessitent pas de remplacement avant le redémarrage du réacteur ; le nombre de cycles admissibles avant une prochaine opération de maintenance (mesure d'altimétrie ou remplacement préventif) est justifié en utilisant le critère d'usure et la cinétique pénalisée appliquée sur toutes les manchettes du couvercle. Dans ce cas, la surveillance ou la maintenance sur le couvercle concerné sera à programmer en amont de l'atteinte du critère d'usure.

Pour le palier 1300 MWe, les cinétiques maximales observées lors du premier contrôle d'altimétrie des réacteurs sont très différentes d'un réacteur à l'autre. En l'état actuel des connaissances, un facteur de cinq est observé. En conséquence, compte tenu de l'existence d'un mode de dégradation actif et dont les facteurs d'influence principaux restent mal connus, l'IRSN estime qu'EDF doit, sans attendre le nombre de cycles admissibles avant une prochaine opération de maintenance conformément à sa stratégie (type 2), réaliser des contrôles périodiques d'altimétrie des manchettes thermiques.

Au cours de l'instruction, EDF a pris des engagements relatifs à la surveillance particulière des réacteurs du palier 1300 MWe présentant une cinétique d'usure significative et à la mise en place d'un programme de surveillance et périodique des manchettes thermiques adapté aux réacteurs de chaque palier. **Ces points font l'objet des observations n° 3 et n° 4 en annexe 1.** En particulier, la stratégie d'EDF qui propose un suivi différencié des réacteurs du palier 1300 MWe en fonction de la cinétique d'usure faible ( $\leq 2,5$  mm par cycle) ou importante ( $> 2,5$  mm par cycle) n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'usure des manchettes thermiques non grappées est sans incidence sur la fonction de sûreté réactivité. Vis-à-vis de ces positions, EDF indique que l'opportunité de réparation ou de remplacement de la manchette thermique sera étudiée au cas par cas. Toutefois, la formation d'une collerette sur ces positions non grappées pourrait induire d'autres risques vis-à-vis de la sûreté, notamment lors de la manutention du couvercle de cuve au-dessus de la piscine du bâtiment réacteur. En effet, une fois la collerette formée, l'autre partie de la manchette thermique (environ 13 kg) pourrait potentiellement endommager les internes supérieurs ou la peau métallique de la piscine du bâtiment réacteur. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 5 en annexe 1.**

---

<sup>6</sup> 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).

En conclusion de son évaluation, et sous réserve de la prise en compte des observations n° 1 à n° 4 formulées en annexe 1, l'IRSN estime acceptables, du point de vue de la sûreté, la méthodologie d'évaluation des critères d'usure ainsi que la stratégie de maintenance d'EDF relative aux usures des manchettes thermiques de l'ensemble des réacteurs du parc.

Le retour d'expérience des contrôles d'usure par altimétrie au fil des arrêts pour renouvellement du combustible des réacteurs à venir devra toutefois conforter la pertinence de la stratégie de maintenance retenue.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'Avis IRSN/2018-00281 du 19 octobre 2018

Observations

Observation n° 1

EDF s'engage à transmettre, au premier semestre 2019, le programme détaillé des actions de recherche et de développement qui seront menées sur la connaissance des sollicitations vibratoires des manchettes thermiques, en précisant les échéances pour les différentes actions à engager. Les thèmes instruits seront la thermo-hydraulique dans le dôme, les essais mécaniques à l'échelle ainsi que les analyses statistiques des paramètres influents.

Observation n° 2

EDF s'engage à prendre en compte une variable supplémentaire (usure radiale de l'adaptateur) dans le calcul du critère géométrique, correspondant à un déplacement radial supplémentaire de 1 mm par rapport au nominal. Il en résulte un critère géométrique permettant de définir un critère d'usure de 39 mm, applicable pour les prochains contrôles de manchettes en 2018 à partir du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Saint-Alban.

Observation n° 3

Pour consolider les données de REX sur les cinétiques d'usure, et pour continuer à particulariser chaque cinétique de réacteur vis-à-vis du remplacement de manchettes thermiques, EDF s'engage à contrôler les couvercles pour les réacteurs du palier 1300 MWe avec une cinétique d'usure significative ( $> 2,5$  mm par cycle), à chaque arrêt pour renouvellement du combustible pendant les trois prochains cycles de fonctionnement (période 2019 - 2023). Sur la même période, les autres réacteurs du palier 1300 MWe avec une usure modérée ( $\leq 2,5$  mm par cycle) seront contrôlés en visite partielle ou en visite décennale.

Observation n° 4

EDF s'engage à définir une stratégie de maintenance pérenne des manchettes thermiques d'adaptateurs de couvercle de cuve (surveillance et remplacement) pour tous les paliers pour la fin de 2020.

Observation n° 5

L'IRSN estime qu'EDF devrait considérer le risque d'affaissement de la manchette thermique ou de sa désolidarisation lors de la manutention du couvercle de cuve.

Annexe 2 à l'Avis IRSN/2018-00281 du 19 octobre 2018

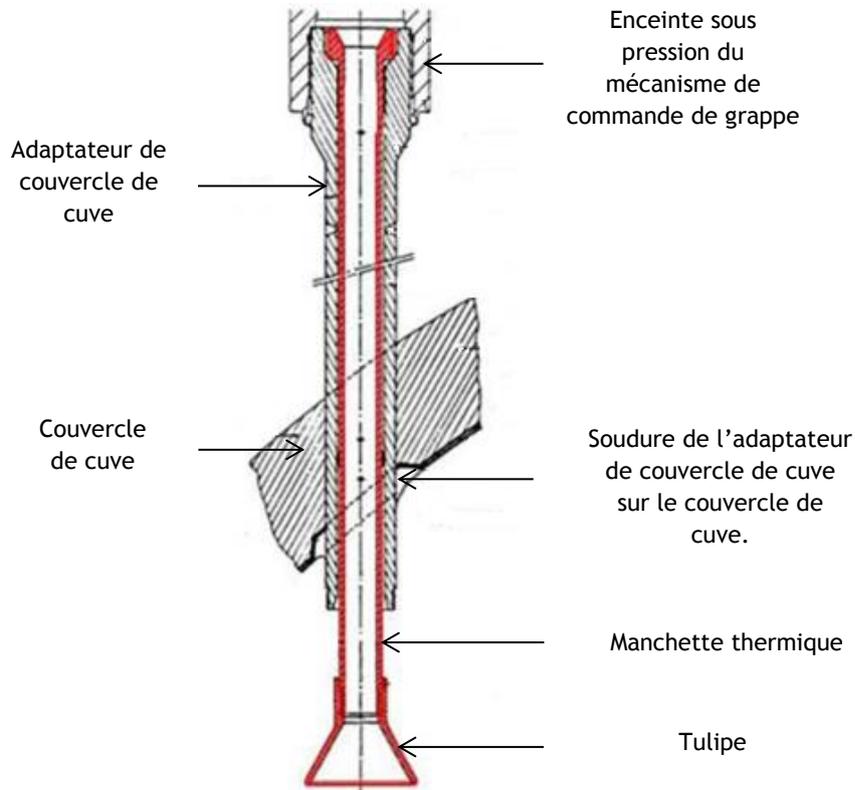


Figure 1 : schéma d'un adaptateur de couvercle de cuve et de sa manchette thermique<sup>7</sup> (en rouge).

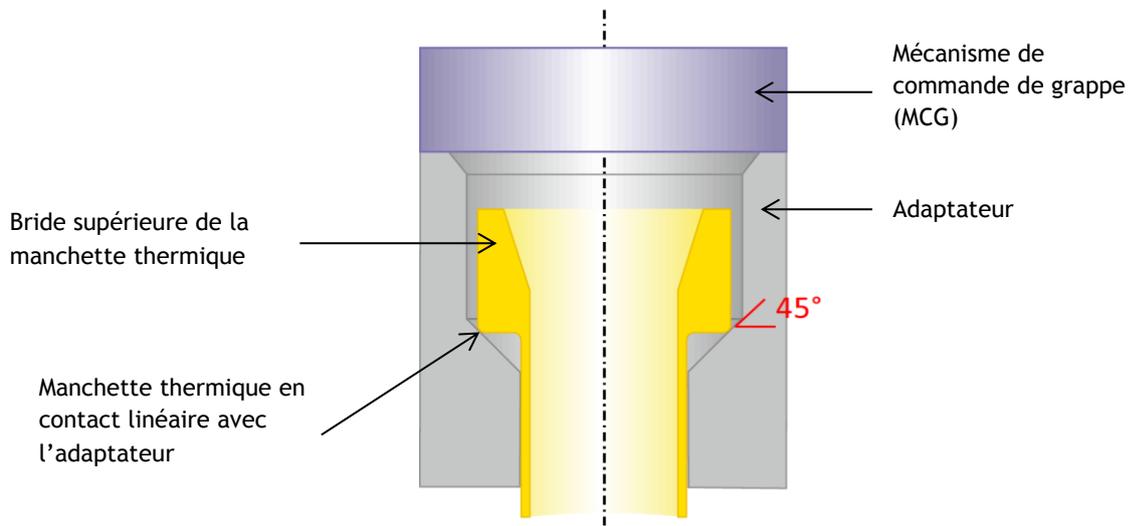


Figure 2 : schéma de la bride supérieure de la manchette thermique reposant sur le chanfrein à 45° de l'adaptateur.

<sup>7</sup> La manchette thermique a pour rôle de protéger l'adaptateur et sa soudure sur le couvercle de cuve contre les variations thermiques (risque de fatigue). Elle ménage également un passage permettant la circulation de l'eau du circuit primaire afin de limiter les forces allant à l'encontre de la chute des grappes.

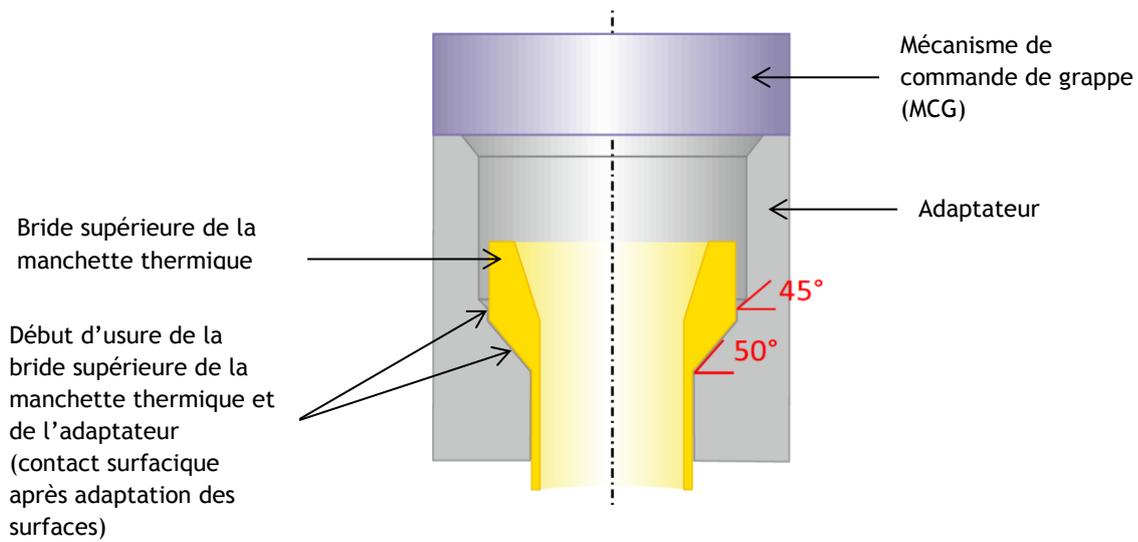


Figure 3 : schéma représentatif d'un début d'usure de la bride supérieure de la manchette thermique et de l'adaptateur.

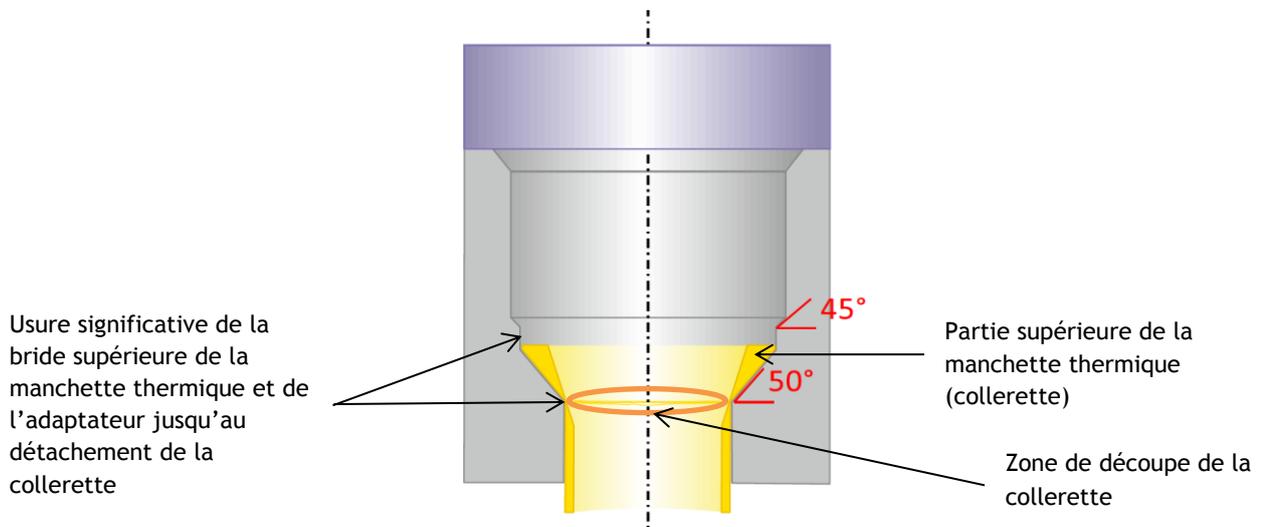


Figure 4 : schéma représentatif d'une usure significative de la bride supérieure de la manchette thermique et de l'adaptateur.