

Fontenay-aux-Roses, le 5 décembre 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis IRSN N°** 2014-00432

**Objet :** Réacteurs électronucléaires - EDF

Tenue au séisme des ancrages des réservoirs RIS 004 BA des paliers CP0 et CPY

**Réf. :** Lettre ASN CODEP-DCN- 2013-067241 du 17 décembre 2013

Par lettre citée en référence, l'Autorité de Sûreté Nucléaire demande l'avis de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire sur :

- les justifications apportées par EDF sur la tenue des réservoirs RIS 004 BA à l'égard des séismes de SMHV<sup>1</sup> et SMS<sup>2</sup>;
- l'acceptabilité du traitement de l'écart constaté sur les ancrages du réservoir RIS 004 BA du réacteur n°1 du CNPE<sup>3</sup> de Gravelines.

Les réservoirs RIS 004 BA constituent une réserve de 3,4 m<sup>3</sup> d'une solution d'acide borique à 21000 ppm et fait partie du système d'injection de sécurité haute pression (ISHP). En cas d'accident et de mise en service de l'ISHP, l'injection dans les branches froides du circuit primaire s'effectue par l'intermédiaire de ce réservoir, contribuant ainsi à la sous-criticité du réacteur. C'est un matériel Important pour la Sûreté (IPS) - Élément Important pour la Protection des intérêts (EIP) au sens du nouvel Arrêté INB - pour lequel la stabilité et la résistance des ancrages doivent être garanties en cas de séisme de niveau SMHV et SMS.

Par conception, les réservoirs RIS 004 BA des centrales nucléaires des paliers CPY et CP0 sont fixés sur une jupe d'épaisseur 10 mm ancrée sur le génie civil par l'intermédiaire de huit tiges traversantes précontraintes.

Lors du déploiement du Programme de Base de Maintenance Préventive (PBMP) des tirants précontraints sur les centrales nucléaires des paliers CPY et CP0, EDF a identifié un manque théorique de précontrainte et une insuffisance en section résistante des tirants d'ancrage (diamètre de la tige inférieur au diamètre requis) des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°1 à 4 des centrales 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 B 440 546 018

<sup>1</sup> SMHV : Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable

<sup>2</sup> SMS : Séisme Maximal de Sécurité

<sup>3</sup> CNPE : Centre nucléaire de production d'énergie

Tricastin, Gravelines et Dampierre, ainsi que des réacteurs n° 1 et 2 des centrales de Blayais et Saint-Laurent B.

De plus, les expertises de l'acier des tirants menées sur plusieurs de ces sites ont mis en évidence des écarts sur leurs caractéristiques mécaniques.

Par ailleurs, EDF a constaté lors des contrôles de serrage effectués en mars 2013 un écart sur une des huit tiges filetées du réservoir RIS 004 BA du réacteur n° 1 de Gravelines; la tige incriminée a un diamètre de 18 mm, sensiblement inférieur au diamètre des sept autres (30 mm).

Compte tenu des similitudes entre les paliers CPO et CPY, ces contrôles ont été étendus aux tirants des réservoirs RIS 004 BA des centrales de Bugey et de Fessenheim. Lors de ces contrôles, un nouvel écart sur le type des tiges d'ancrage simplement scellées et non précontraintes a été constaté.

Ces diverses anomalies (type d'ancrage, diamètre de la tige et caractéristiques de l'acier des tirants) sont susceptibles de remettre en cause la stabilité des réservoirs RIS 004 BA en cas de séisme.

Aussi, EDF a lancé des études de vérification de la résistance des ancrages de ces réservoirs avec la prise en compte de l'ensemble des anomalies relevées lors des contrôles et des expertises. EDF conclut qu'à l'exception du réservoir RIS 004 BA du réacteur n° 1 de Gravelines, pour lequel une modification est nécessaire, la résistance des ancrages des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs des paliers CPO et CPY est acquise à l'égard des séismes de niveau SMHV et SMS.

Les systèmes d'ancrage précontraints sont conçus pour accroître la rigidité de la liaison entre les matériels et le génie civil pour mieux résister aux sollicitations auxquels ils sont soumis. Ainsi, l'effort de précontrainte appliqué aux tirants est destiné à éviter le travail au cisaillement ainsi que le décollement et le glissement des platines sur le génie civil, à compenser les effets de desserrage instantané et progressif, ainsi qu'à réduire l'influence des sollicitations dynamiques externes sur la fatigue des tirants. Tant que le non décollement et le non glissement sont assurés, la tension requise dans les tirants est quasiment indépendante des efforts extérieurs et ces derniers ne sont pas sollicités en cisaillement. Le maintien d'une précontrainte minimale dans les tiges des tirants est un facteur déterminant pour garantir la fonctionnalité du système d'ancrage précontraint et la robustesse de l'assemblage mécanique en cas de séisme.

De plus, les tiges d'ancrage ne sont pas destinées à transmettre des efforts horizontaux importants et il convient de privilégier la reprise de ces efforts par frottement pour éviter le poinçonnement voire l'éclatement du béton sous l'effet de la pression diamétrale exercée par les tiges.

#### Justification du comportement des réservoirs RIS 004 BA du CPY en cas de séisme

Pour la détermination des efforts dans les tirants d'ancrage, EDF effectue une analyse quasi-statique par direction (horizontale et verticale) du réservoir à l'aide d'un modèle mécanique simple de type poutre, où toute la masse est concentrée au centre de gravité du réservoir, avec une raideur cohérente avec la rigidité de la jupe d'ancrage.

Au préalable, EDF détermine les fréquences propres du réservoir RIS 004 BA à l'aide d'un calcul aux éléments finis réalisé sur la base d'un modèle tridimensionnel détaillé représentant également les huit tirants précontraints. La première fréquence propre du réservoir dans la direction verticale étant

supérieure à la fréquence de coupure<sup>4</sup> (33 Hz), l'accélération retenue est l'accélération à fréquence infinie. Les accélérations retenues dans les directions horizontales sont celles des spectres de plancher du niveau d'implantation du réservoir ou du niveau supérieur en considérant un amortissement de 4 %.

Les effets des trois directions orthogonales de séisme sont ensuite cumulés selon les combinaisons de Newmark. Les réactions des tuyauteries connectées au niveau des tubulures inférieure et supérieure du réservoir, déterminées dans une étude spécifique par EDF, sont également prises en compte.

EDF considère, après avoir déterminé à l'aide du modèle tridimensionnel détaillé le nombre minimal de tirants comprimés, que l'effort de cisaillement horizontal est équilibré par les deux tirants comprimés et par le frottement au contact du béton.

EDF vérifie sur ces bases que les efforts dans les tirants respectent les critères des règles RCC-M.

EDF applique à l'ensemble du réservoir l'accélération sismique du premier mode de vibration, situé au-delà du pic du spectre de plancher, pour lequel la masse participante est inférieure à 80% de la masse totale du réservoir. Les autres modes de vibration ont des fréquences supérieures à la fréquence de coupure. Ceci n'appelle pas de commentaire.

Pour ce qui concerne la détermination des efforts de traction dans les tiges, l'IRSN constate l'absence de prise en compte des effets combinés des deux directions horizontales du séisme pour déterminer le moment de renversement, ce qui conduit à minorer les efforts de traction dans les tirants. Ceci n'est pas jugé satisfaisant.

De plus, le cumul des effets des deux directions horizontales du séisme, non pris en compte pour le calcul du moment de renversement des réservoirs, l'est pour le calcul des efforts de cisaillement. Ces deux approches ne sont donc pas cohérentes.

En réponse à ces objections, EDF précise que cette méthode simplifiée, dont le choix est essentiellement motivé par la reprise à l'identique des calculs réalisés à la conception, est celle qui est utilisée par les experts américains pour des études d'évaluation de marges SMA<sup>5</sup>. L'approche retenue par EDF n'est pas jugée conservatrice par l'IRSN pour l'estimation des efforts de traction dans les tirants.

A partir des efforts de traction ainsi calculés dans les tirants, EDF vérifie la résistance des tiges selon les critères des règles RCC-M. L'IRSN souligne que les efforts calculés dans les tirants ne permettent pas, avec la précontrainte de 63 kN spécifiée par EDF, de garantir l'absence de soulèvement ou de glissements locaux pour les réservoirs RIS 004 BA des centrales de Dampierre (tranches 1 à 4), Gravelines (tranches 2 à 4) et Tricastin (tranches 1 à 4). L'IRSN relève aussi qu'EDF ne prend pas en compte les contraintes parasites de torsion dues à la méthode de serrage.

Toutefois, sur la base de sa propre analyse, l'IRSN estime qu'en considérant l'effet combiné des deux directions horizontales du séisme, qui déterminent le moment de renversement du réservoir, et les

---

<sup>4</sup> Fréquence caractéristique du séisme, au-delà de laquelle il n'y a plus d'amplification dynamique.

<sup>5</sup> SMA : Seism Margin Assessment.

contraintes parasites de torsion dans les tiges, les critères des règles RCC-M sont vérifiés pour les tirants des réservoirs RIS 004 BA des centrales de Blayais, Dampierre et Saint-Laurent.

Par ailleurs, l'IRSN note l'absence de vérification de la rigidité des colonnettes et de la couronne d'ancrage. Pour éviter un effet de levier et une mise en flexion des tiges, la vérification de la rigidité des colonnettes et le bon contact mécanique d'une part entre les plaques en acier (colonnettes et platines) et les rondelles des tirants, d'autre part entre la plaque et le béton, est nécessaire. A cet égard, EDF indique que les vérifications réalisées ont été volontairement limitées à l'étude des tirants et que la résistance des colonnettes et de leur soudure sur la jupe support et sur les platines n'a pas été étudiée.

L'IRSN estime que les justifications de résistance des tirants des réservoirs RIS 004 BA en situation sismique apportées par EDF sont incomplètes.

**Ce point fait l'objet de l'observation n° 1, formulée en annexe 2.**

De plus, l'IRSN souligne que, compte tenu des incertitudes liées à la méthode de serrage au couple et pour garantir l'absence de plastification et de rupture brutale des tirants sous sollicitations sismiques, une évaluation précise des couples de resserrage assurant la précontrainte résiduelle minimale requise est nécessaire.

**Ce point fait l'objet de l'observation n° 2, formulée en annexe 2.**

S'agissant des effets des déplacements en regard des exigences fonctionnelles des réservoirs RIS 004 BA, EDF a indiqué en fin d'instruction que les effets du soulèvement maximal sur les tirants les plus sollicités sont acceptables vis-à-vis de la flexibilité des lignes connectées sur le réservoir RIS 004 BA et de la tenue des supports des lignes connectées. L'incidence de ces déplacements sur la fonctionnalité des réservoirs et des tuyauteries connectées est négligeable, comparée à celle des autres chargements (thermiques, actions accidentelles).

Enfin, compte tenu de la présence de produits de scellement dans les fourreaux des tirants et conformément à sa doctrine de maintenance « ancrages », EDF a effectué une analyse spécifique pour déterminer la périodicité des resserrages :

- pour les réservoirs RIS 004 BA des réacteurs 1 et 2 de Blayais, 1, 3 et 4 de Dampierre, 1 et 2 de Saint Laurent , un resserrage tous les 10 ans est préconisé ; le couple appliqué est de 394 N.m ;
- pour les réservoirs RIS 004 BA des réacteurs 1 à 4 de Gravelines et 1, 2 et 4 de Tricastin, un resserrage à chaque visite partielle est réalisé ; le couple appliqué est de 394 N.m pour Gravelines et 447 N.m pour Tricastin ;
- pour les réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n° 2 de Dampierre et n° 3 de Tricastin, ces tirants peuvent rester en l'état jusqu'à 2022 ; ils seront ensuite resserrés tous les 10 ans avec un couple appliqué de 394 N.m pour Dampierre et à chaque VP avec un couple appliqué de 447 N.m pour Tricastin.

EDF précise que le PBMP et la RNM<sup>6</sup> des ancrages des matériels EIP du palier CPY seront mis à jour en conséquence.

EDF a précisé que les ancrages des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°2 de Dampierre et n°3 de Tricastin ont été resserrés en 2012 par application d'un couple de 675 N.m et que, compte tenu de la précontrainte appliquée en 2012, les prochains resserrages peuvent être programmés dans 10 ans, soit en 2022.

Sur la base de sa propre analyse, en se fondant sur les éléments transmis par EDF en fin d'instruction, l'IRSN constate qu'avec le couple de serrage de 675 N.m retenu par EDF, la prise en compte de la contrainte de torsion parasite induite par la méthode de serrage au couple et des incertitudes sur les coefficients de frottement, la valeur minimale de la précontrainte dans les tirants est de 120 kN et la valeur maximale est de 189 kN : pour la configuration avec les efforts minimaux, la contrainte équivalente dans le tirant atteint la limite élastique, et pour la configuration avec les efforts maximaux, elle dépasse largement la limite élastique. Compte tenu des incertitudes sur les coefficients de frottement et sur la valeur du couple appliqué, il ne peut être exclu une plastification significative des tirants. **Ceci n'est pas acceptable.**

**Ce point fait l'objet de la recommandation n°1, formulée en annexe 1.**

Par ailleurs, l'IRSN souligne que dans la mise à jour de la Règle Nationale de Maintenance, EDF indique que les tirants des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°2 de Dampierre et 3 de Tricastin seront recontrôlés et resserrés en 2022 ; le couple de serrage à appliquer (394 ou 447 N.m) est nettement inférieur au couple appliqué en 2012 (675 N.m).

De plus, pour les autres réservoirs RIS 004 BA étudiés, l'IRSN constate, sur la base de sa propre analyse, que la précontrainte théorique calculée à partir des couples de serrage indiqués par EDF en fin d'instruction (394 N.m sauf pour les réacteurs 1, 2 et 4 de Tricastin (447 N.m)) permet de vérifier :

- les critères de non décollement et de non glissement ainsi que la résistance des tirants pour les réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°1 et 2 de Blayais et de Saint-Laurent;
- les critères de non décollement et de non glissement, et la résistance des tirants en s'attachant à réduire les dispersions sur l'effort de serrage pour les réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°1,3 et 4 de Dampierre et 1,2 et 4 de Tricastin.

Toutefois, sur la base de cette même analyse, les critères de résistance et de stabilité requis pour les réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°2 à 4 de Gravelines ne sont pas vérifiés. L'IRSN considère donc que le couple de serrage devra être redéfini en conséquence.

**Ce point est repris dans la recommandation n°2, formulée en annexe 1.**

Par ailleurs, l'IRSN souligne que:

- la présence de produits de calage dans les fourreaux des tirants ne permet pas de prédire l'évolution de la tension dans les tirants sur le long terme ;

---

<sup>6</sup> RNM : règle nationale de maintenance

- la méthode de serrage au couple ne permet pas non plus de connaître avec la précision nécessaire la tension résiduelle effective dans les tirants ;
- la tension minimale requise  $TB^7$  et la tension résiduelle de serrage  $TA^8$  déterminée avec les couples de serrage indiqués par EDF sont très proches pour les CNPE de Gravelines et Tricastin.

Aussi, l'IRSN estime que, pour les tirants des réservoirs RIS 004 BA pour lesquels on recherche une bonne précision dans le serrage final (les tensions minimale requise et résiduelle de serrage étant très proches), il conviendrait de munir chaque tirant d'un capteur d'effort permettant de mesurer et d'enregistrer, périodiquement ou en continu, l'effort de tension résiduel dans les tirants. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 3 formulée en annexe 2.**

En conclusion, l'IRSN considère qu'en dépit de lacunes dans les justifications apportées par EDF, le couple de resserrage de 394 N.m permet d'assurer l'ancrage au génie-civil des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n° 1 et 2 des CNPE de Blayais et de Saint-Laurent B en situation sismique.

S'agissant des réacteurs n° 2, 3 et 4 de Gravelines, n° 1 à 4 de Dampierre et de Tricastin, l'IRSN estime nécessaire que, pour garantir de façon pérenne la maîtrise de la fonctionnalité des réservoirs RIS 004 BA, les justifications apportées par EDF et les opérations de remise en conformité des tirants précontraints qui en découlent soient complétées en tenant compte des recommandations n° 1 et n° 2, et des observations n° 1, 2 et 3 formulées en annexe.

A cet égard, l'IRSN remarque que l'effet favorable de la reprise du moment de flexion et de l'effort normal par compression de la couronne d'ancrage sur le béton pourrait être pris en compte pour ces justifications.

#### Traitement de l'écart constaté sur les ancrages du réservoir RIS 004 BA du réacteur n° 1 de Gravelines.

Pour ce qui concerne le réservoir RIS 004 BA du réacteur n° 1 de Gravelines, EDF retient de renforcer l'ancrage défectueux par la mise en place d'une clame soudée au réservoir et ancrée au génie civil à l'aide de deux tiges filetées précontraintes de diamètre 27 mm, scellées dans du micro béton (voir figure 2 en annexe 2). L'IRSN n'a pas de remarque sur la justification de l'ancrage renforcé mais note que la suffisance de la rigidité de la colonnette qui doit assurer le transfert des efforts jusqu'aux ancrages et celle des contrôles des joints soudés n'a pas été vérifiée. Ces points sont repris dans les observations n° 1 et n° 4 formulées en annexe 2.

#### Justification du comportement des réservoirs RIS 004 BA du CPO en cas de séisme

Pour ce qui concerne les réservoirs RIS 004 BA des centrales de Bugey et de Fessenheim, l'IRSN note que la méthodologie retenue pour la détermination des sollicitations dans les tirants est analogue à celle présentée ci-avant, sans prise en compte de l'effort de précontrainte compte tenu de l'écart sur le type des ancrages détecté lors des contrôles. EDF a vérifié uniquement la capacité résistante des tiges d'ancrage en traction, en cisaillement et en traction/cisaillement selon les critères des règles

<sup>7</sup> La tension  $TB$  est celle déterminée sur la base du calcul à partir des efforts de dimensionnement (séisme, RTHE, APRP, ...) en respectant les critères de non décollement et de non glissement local au niveau des ancrages

<sup>8</sup> La tension  $TA$  est la tension effective appliquée au dernier resserrage

RCC-M. Les vérifications de résistance vis-à-vis du béton n'ont pas été effectuées, ce qui n'est pas satisfaisant. Toutefois, sur la base de sa propre analyse et en se fondant sur les caractéristiques des tiges scellées transmises par EDF pendant l'instruction, l'IRSN considère comme acquis le comportement mécanique de l'ancrage au génie civil des réservoirs RIS 004 BA de Bugey et de Fessenheim pour un séisme de niveau SMS.

Par ailleurs, le 13 janvier 2014, EDF a déclaré un ESS<sup>9</sup> pour le réservoir RIS 004 BA du réacteur n°2 de la centrale de Bugey : trois des huit ancrages scellés étant inclinés, l'écrou et la platine ne sont pas en contact. Cette absence de contact mécanique peut provoquer une mise en flexion du tirant, créer des désordres dans la structure et accroît également le risque d'un mauvais fonctionnement des appareils de mise en tension.

Lors de l'instruction, EDF a précisé qu'une opération de remise en conformité, qui a consisté à insérer une cale biaise entre l'écrou et la chaise d'ancrage, a été effectuée.

L'IRSN estime que la mise en place de ces trois cales rétablit le contact mécanique entre l'écrou de la tige d'ancrage et la platine, ce qui permet d'assurer un meilleur comportement mécanique de l'ancrage du réservoir RIS 004 BA du réacteur n°2 de Bugey en cas de séisme.

Pour le Directeur général, par ordre,

Franck BIGOT

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

---

<sup>9</sup> ESS : Evènement significatif du domaine de sûreté

**Annexe 1 à l'avis IRSN/2014-00432 du 5 décembre 2014**

**Recommandations**

Recommandation n°1: Compte tenu du niveau de précontrainte appliquée dans les tirants des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs n°2 de Dampierre et 3 de Tricastin en 2012, l'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre des renforcements visant à limiter les efforts dans les tirants ou à défaut remplace les tirants.

Recommandation n°2 :

L'IRSN recommande qu'EDF prenne en compte, pour déterminer le couple de serrage des tirants précontraints des réservoirs RIS 004 BA de la centrale de Gravelines :

- les dispersions sur les valeurs de la tension de serrage liées à la méthode de serrage au couple ;
- les effets cumulés des directions horizontales du séisme ;
- les contraintes parasites de torsion.

Annexe 2 à l'avis IRSN/2014-00432 du 5 décembre 2014

Observations

Observation n°1 : EDF devrait prendre en compte pour le calcul des efforts dans les tirants, les effets cumulés des directions horizontales du séisme et les contraintes parasites de torsion, et vérifier la résistance des colonnettes et de leurs joints soudés sur la jupe support et sur les platines.

Observation n°2 : EDF devrait s'assurer que les valeurs des couples appliqués ou à appliquer, précisés dans la Règle Nationale de Maintenance des tirants précontraints, avec la prise en compte de la contrainte de torsion parasite et des facteurs de dispersion liés à la méthode de serrage au couple, garantissent que la contrainte équivalente dans les tirants reste inférieure à la limite élastique de l'acier des tirants, avec une marge provisionnelle.

Observation n°3 : Pour les tirants des réservoirs RIS 004 BA des réacteurs de Gravelines et Tricastin, serrés au couple, immobilisés dans un produit de calage et pour lesquels on recherche une bonne précision sur la précontrainte résiduelle, il conviendrait de munir chaque tirant d'un capteur d'effort permettant de mesurer et d'enregistrer, périodiquement ou en continu, l'effort de tension du tirant.

Observation n°4 : EDF devrait préciser les contrôles effectués sur les joints soudés des ancrages du réservoir RIS 004 BA du réacteur n°1 de Gravelines.

Figures

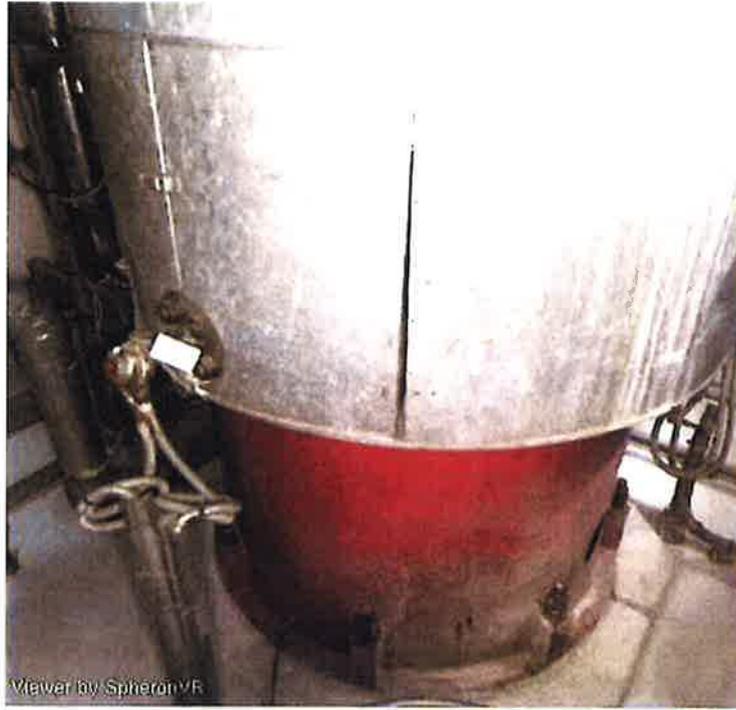


figure1 Ancrages d'un réservoir RIS 004 BA.

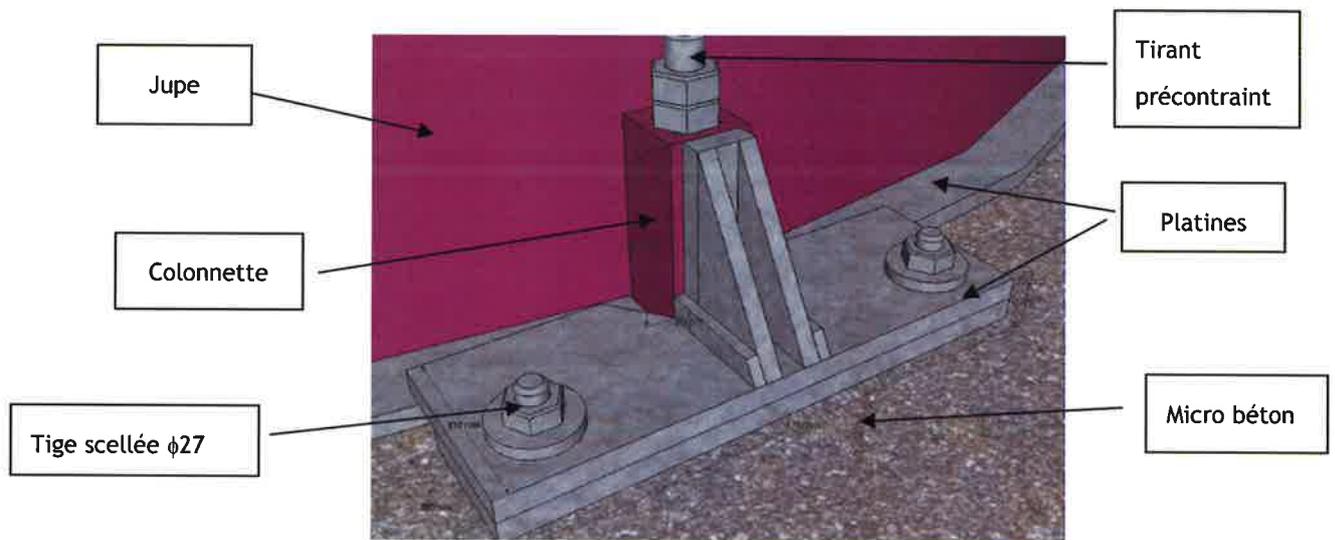


figure2 Renforcement de la tige défectueuse du réservoir 1RIS 004 BA de Gravelines.

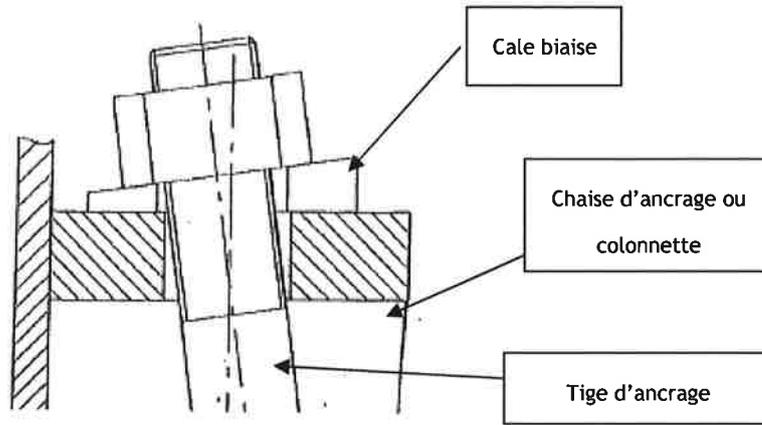


figure3 Mise en place des cales biaises au niveau des ancrages du réservoirs 2RIS 004 BA du CNPE de Bugey : Schéma d'implantation.