

Entité Propriétaire DT_C_CV

Type doc NT NOTE TECHNIQUE-DESCRIPTIF-NOTE DE CALCUL

**JUSTIFICATION DE LA DEMANDE D'AMENAGEMENT DES
REGLES DE SUIVI EN SERVICE DU DECRET 2015-799
BOUILLEUR DE RECTIFICATION DES DISTILLATS 4140-31 DE
L'ATELIER R2**

Ce document contient des informations masquées dans l'objectif de garantir :
 - la protection des installations
 - le secret industriel.
 L'ASN détient la version complète de la présente note.



| Signataires : | | | |
|----------------------|------------|---------------------|-------------|
| | <i>Nom</i> | <i>Entité</i> | <i>Visa</i> |
| Rédacteur | ██████████ | EXT - AREVA PROJETS | 08/01/2018 |
| Vérificateur | ██████████ | DT_PRO | 09/01/2018 |
| Approbateur | ██████████ | DUOT_ R2 | 09/01/2018 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Les signatures électroniques portées ci-dessus sont garanties par la GEIDE



HISTORIQUE DES REVISIONS

| Rév. | Date, N° de contrôle, Signataire et repérages des paragraphes modifiés |
|----------|--|
| A | Approbation le [REDACTED] N° de contrôle : 000..... Rédacteur : [REDACTED] Vérificateur : [REDACTED] Approbateur : [REDACTED] |
| B | Approbation le [REDACTED] N° de contrôle : 000..... Rédacteur : [REDACTED] Vérificateur : [REDACTED] Approbateur : [REDACTED] |
| C | Rédacteur : [REDACTED] Vérificateur : [REDACTED] Approbateur : [REDACTED] |

| | | |
|---------------------|---|------------|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

SOMMAIRE

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | DOCUMENTS DE REFERENCE | 5 |
| 2 | OBJET DU DOCUMENT ET CHAMP D'APPLICATION | 7 |
| 3 | OBJET DE LA REVISION | 7 |
| 4 | SIGLES ET ABREVIATIONS | 8 |
| 5 | DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DU BOUILLEUR ESPN | 9 |
| 5.1 | PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT | 9 |
| 5.2 | CARACTERISTIQUES DE DIMENSIONNEMENT DU COMPARTIMENT PROCEDE | 12 |
| 5.3 | CARACTERISTIQUES DE DIMENSIONNEMENT DU COMPARTIMENT CALOPORTEUR | 12 |
| 6 | CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES | 13 |
| 7 | EXIGENCES REGLEMENTAIRES | 14 |
| 7.1 | APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION | 14 |
| 7.2 | APPLICABLES A L'ESPN | 15 |
| 7.2.1 | <i>Classement de l'équipement</i> | 15 |
| 7.2.2 | <i>Inspection périodique</i> | 15 |
| 7.2.3 | <i>Requalification périodique</i> | 16 |
| 8 | OBSTACLES A LA MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS REGLEMENTAIRES | 18 |
| 8.1 | ENVIRONNEMENT DE L'ESPN | 18 |
| 8.2 | ACCESSIBILITE A L'EQUIPEMENT | 19 |
| 8.3 | EXAMEN VISUEL | 20 |
| 8.4 | MISE EN PRESSION (EPREUVE HYDRAULIQUE) | 21 |
| 8.4.1 | <i>Compartiment nucléaire</i> | 21 |
| 8.4.2 | <i>Compartiment sous pression</i> | 21 |
| 8.5 | PERIMETRE DE LA DEMANDE DE DISPOSITIONS PARTICULIERES | 21 |
| 9 | ESTIMATION DE LA PROBABILITE DE LA DEFAILLANCE | 22 |
| 9.1 | DETERMINATION DU FACTEUR FABRICATION | 22 |
| 9.1.1 | <i>Dossier descriptif</i> | 23 |
| 9.1.2 | <i>Matériau</i> | 23 |
| 9.1.3 | <i>Présentation du dossier de calcul</i> | 23 |
| 9.1.3.1 | Dossier de calcul initial | 24 |
| 9.1.3.1.1 | Note de calcul statique | 24 |
| 9.1.3.1.2 | Etude en fatigue fluage des soudures tube-plaque tubulaire | 26 |
| 9.1.3.2 | Dossier complémentaire de calcul | 27 |
| 9.1.3.2.1 | Calcul statique pour la justification d'une épaisseur consommable | 27 |
| 9.1.3.2.2 | Résultats du calcul statique : | 33 |
| 9.1.3.2.3 | Vérification en fatigue-fluage et définition d'un nombre de cycle admissible en fatigue: | 34 |
| 9.1.3.2.4 | Résultats de l'analyse en fatigue-fluage : | 38 |
| 9.1.4 | <i>Niveau du facteur de fabrication de l'équipement</i> | 39 |
| 9.2 | DETERMINATION DU FACTEUR ETAT | 40 |
| 9.2.1 | <i>Modes de dégradation</i> | 41 |
| 9.2.2 | <i>Etat général par examen visuel de l'équipement</i> | 41 |
| 9.2.3 | <i>Mesures d'épaisseur sur l'équipement</i> | 44 |
| 9.2.3.1 | Caractérisation théorique idéale | 44 |
| 9.2.3.2 | Caractérisation réelle | 44 |
| 9.2.3.2.1 | Mesure d'épaisseur sur l'enveloppe externe de l'équipement | 44 |
| 9.2.3.2.2 | Mesure d'épaisseur sur les tubes interne de l'équipement | 45 |
| 9.2.3.2.3 | Conservatismes | 48 |
| 9.2.4 | <i>Suivi de l'historique de fonctionnement</i> | 48 |

| | | |
|---------------------|---|------------|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 9.2.4.1 | Suivi des cycles en fatigue du bouilleur..... | 48 |
| 9.2.4.2 | Historique des paramètres de fonctionnement..... | 48 |
| 9.2.5 | <i>Niveau du facteur état de l'équipement</i> | 50 |
| 9.3 | DETERMINATION DU FACTEUR DEGRADATION | 51 |
| 9.3.1 | <i>Sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles</i> | 52 |
| 9.3.2 | <i>Corrosion uniforme et généralisée</i> | 54 |
| 9.3.2.1 | Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation..... | 54 |
| 9.3.2.1.1 | Comportement du matériau face à la corrosion : données expérimentales | 54 |
| 9.3.2.1.2 | Comportement du matériau face à la corrosion : REX sur équipements similaires..... | 55 |
| 9.3.2.1.3 | Probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion..... | 65 |
| 9.3.2.2 | Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation..... | 65 |
| 9.3.2.3 | Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations..... | 66 |
| 9.3.2.4 | Niveau du facteur de dégradation | 66 |
| 9.3.3 | <i>Fatigue-fluage</i> | 67 |
| 9.3.3.1 | Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation..... | 67 |
| 9.3.3.2 | Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation..... | 67 |
| 9.3.3.3 | Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations..... | 67 |
| 9.3.3.3.1 | Adéquation des inspections liées à la fatigue | 67 |
| 9.3.3.4 | Niveau du facteur de dégradation | 68 |
| 9.3.4 | <i>Facteur Global de dégradation de sécurité de l'équipement</i> | 69 |
| 9.4 | DETERMINATION DU NIVEAU DE SECURITE DE L'ESPN | 69 |
| 10 | JUSTIFICATION D'UN NIVEAU EQUIVALENT DE SECURITE | 70 |
| 11 | EVALUATION DES CONSEQUENCES DE LA DEFAILLANCE DE L'ESPN..... | 71 |
| 11.1 | RETOUR D'EXPERIENCE (REX) CONCERNANT LA DETECTION DES SCENARIOS ESPN..... | 71 |
| 11.1.1 | <i>N°1/4 : Défaut d'étanchéité des évaporateurs thermosiphons vers la cellule</i> | 71 |
| 11.1.2 | <i>N°2 : Défaillance de l'évaporateur 245-40 de l'atelier HAPF (UP2 400)</i> | 72 |
| 11.1.3 | <i>N°3 : Détection de l'évènement sur 4140-31 de T2</i> | 73 |
| 11.2 | RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE L'ESPN..... | 74 |
| 11.3 | CONSEQUENCES SUR LE PERSONNEL..... | 75 |
| 11.4 | CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT | 77 |
| 12 | DISPOSITIONS PARTICULIERES MISES EN ŒUVRE EN FONCTION DES MODES DE DEGRADATION | 78 |
| 13 | PERIMETRE DE LA DEMANDE POUR LE SUIVI EN SERVICE | 79 |

| | | |
|---------------------|---|------------|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

1 DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Décret n° 2015-799 du 1er juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques.
- [2] Arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux Equipements Sous Pression Nucléaires.
- [3] CODEP – DEP – 2013 – 034129 : Conditions particulières d'application du Titre III du décret 99 – 1046 aux Equipements Sous Pression Nucléaire.
- [4] CODEP – CAE – 2014 – 017304 : Rejet des demandes de conditions particulières d'application du titre III du décret du 13 décembre 1999 aux équipements sous pression nucléaires du 9 avril 2014.
- [5] 2014-7033: Justification du classement du bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 en « ESPN de Niveau 3 » selon l'arrêté du 12 décembre 2005.
- [6] Décret du 2 avril 1926 : Portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux.
- [7] 2014-33546 : réf. Initiale DER 1301 12 0061 207 procès-verbaux d'épreuve d'étanchéité et résistance bouilleur 4140-31 de R2.
- [8] Décret 99.1046 du 13 décembre 1999 relatif aux Equipements Sous Pression.
- [9] Arrêté du 21 décembre 1999 Relatif à la classification et à l'évaluation de conformité des équipements sous pression.
- [10] Arrêté du 15 Mars 2000 : relatif à l'exploitation des équipements sous pression.
- [11] Arrêté du 30 décembre 2015 relatif aux Equipements Sous Pression Nucléaires.
- [12] Fiche COLEN n°24 : Vérification intérieure des équipements.
- [13] CODEP – DEP – 2013 – 066339 : Transmission de dossiers de demandes d'octroi de conditions particulières d'application du titre III du décret 99.1046 à des équipements sous pression nucléaires.
- [14] 2016-22793 : Projet ESPN – Investigation visuelle – Atelier R2 Bouilleur 4140-31 – Contrôle du 04/04/2016.
- [15] OT 30437216 : Fiche de contrôle test en pression eau surchauffée bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 année 2011 – Contrôle du 19/01/2011.
- [16] 2014-11529 : Dossier Descriptif du bouilleur 4140-31 de l'atelier R2.
- [17] 1996-24876 : Plan d'ensemble bouilleur 4140-31 de R2.
- [18] 2014-33499 : DPQ Cahier de soudage bouilleur 4140-31 de R2.
- [19] 2017- 10678 : réf. Initiale NT 1301 12 0146 NOTE DE CALCUL STATIQUE DE DIMENSIONNEMENT MECANIQUE DU BOUILLEUR R2 4140-31 SALLE [REDACTED].
- [20] 2017-13923 : réf. Initiale NT 3830 12 0002 B NOTE TECHNIQUE - ETUDE EN FATIGUE FLUAGE DES SOUDURES TUBE PLAQUE TUBULAIRE DU BOUILLEUR R2 4140-31.
- [21] 2017- 81365 : réf. initiale NT 100807 12 0176 NOTE DE CALCUL STATIQUE DU THERMOSIPHON 4140-31 DE R2.
- [22] 2017- 81367 : réf. Initiale NT 100807 12 0266 CALCUL MECANIQUE ET THERMOMECHANIQUE DU FAISCEAU DE TUBES DU THERMOSIPHON 4140-31 DE R2.
- [23] 2006- 18791 : COMPTE RENDU MESURES D'EPAISSEURS FAISCEAU TUBULAIRE DU BOUILLEUR 4140-31 ATELIER R2 DE FEVRIER 2006.
- [24] 2015-21215 : EXAMEN CONFORMITE VIEILLISSEMENT PRESTATIONS DE MESURES D'EPAISSEURS PAR ULTRASON SUR EQUIPEMENT CELLULE [REDACTED] DE L'ATELIER R2 BOUILLEUR 4140-31 COLONNE 4140-30 - CONTROLE DU 26 AU 28 AOUT 2014.
- [25] 2016-22981 : EXAMEN DE CONFORMITE VIEILLISSEMENT ZONE 4 PRESTIONS DE MESURES D'EPAISSEURS PAR ULTRASON SUR EQUIPEMENTS CELLULE [REDACTED] DE L'ATELIER R2 EVAPORATEUR THERMISIPHON R2 4140-31/30 - CONTROLE DU 4

| | | |
|---------------------|---|------------|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

ET 6 AVRIL 2016.

- [26] 2016-39241 : Note technique comptage des cycles de fatigue du bouilleur 4140-31 de R2.
- [27] 2013-18381 NOTE TECHNIQUE ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA CORROSION DES ESPN EN [REDACTED] A FIN 2012.
- [28] [REDACTED]
- [29] 2015-25972 SYNTHESE SUR LA PROBLEMATIQUE FLUOR SUR LES USINES UP2-800 ET UP3.
- [30] 2014-1524 - 42004 : Programme des Opérations d'Entretien et de Surveillance (POES) – Bouilleur 4140 – 31 de l'Atelier R2.
- [31] Annexe 1 du courrier COR ARV 3SE INS 13-003 : Guide inter-exploitant des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 aux équipements relevant des annexes 5 et 6 de l'arrêté du 12 décembre 2005..



2 OBJET DU DOCUMENT ET CHAMP D'APPLICATION

Les Equipements Sous Pression Nucléaires (ESPN) sont soumis aux dispositions de suivi en service du décret [1], précisées dans l'arrêté [2] dans son titre III et dans ses annexes 5 et 6.

De ce fait, le bouilleur de rectification des distillats 4140 – 31 de l'atelier R2 est soumis à ces dispositions réglementaires de suivi en service.

L'accessibilité à l'ESPN étant difficile du fait de son implantation et de l'ambiance radiologique, la totalité des gestes réglementaires n'est pas réalisable sur cet ESPN. Il doit ainsi faire l'objet d'une demande d'aménagement des règles de suivi en service en absence de dérogation existante pour l'ensemble des compartiments de l'ESPN (cf §7), conformément au guide [3].

Le présent document, à l'appui de notre demande, comprend :

- la description de l'équipement et les justifications pour solliciter des modalités particulières de suivi en service,
- l'analyse des différents facteurs impactant la probabilité de défaillance de l'équipement et notamment l'analyse des données disponibles concernant sa fabrication, son état et sa sensibilité aux dégradations,
- la démonstration que les mesures compensatoires envisagées en remplacement de tout ou en partie de certaines actions réglementaires, permettent de garantir que le niveau de sécurité de l'équipement sera au moins équivalent à celui qui serait établi par la réalisation complète des exigences réglementaires,
- la présentation d'informations relatives aux conséquences potentielles de la défaillance,
- le périmètre de la demande d'aménagement des règles de suivi en service du décret [1].

3 OBJET DE LA REVISION

L'objet de cette révision est la prise en compte, des demandes complémentaires formulées dans le courrier [4], des échanges avec l'ASN DEP durant l'instruction du présent ARSS (fiche réf. GEIDE 2017-75217).

4 SIGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|------|--|
| CND | Contrôles Non Destructifs |
| CRP | Contrôle de RadioProtection |
| DED | Débit d'Equivalent de Dose |
| DEX | Dossier d'Exploitation |
| DNF | Dernier Niveau de Filtration |
| EF | Eau Surchauffée |
| ESPN | Equipements Sous Pression Nucléaire |
| GRC | Grand Rayon de Courbure |
| INB | Installation Nucléaire de Base |
| OHA | Organisme Habilité Agréé au titre de l'arrêté « ESPN » du 12/12/2005 par l'ASN |
| POES | Programme d'Opération, d'Entretien et de Surveillance |
| PS | Pression Maximale Admissible |
| TS | Température Maximale Admissible |
| RPS | Rapport Provisoire de Sûreté |

5 DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DU BOUILLEUR ESPN

5.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement et les caractéristiques des flux traités dans le bouilleur sont présentés dans l'Analyse de Sûreté de justification de classement en niveau de l'ESPN [5].

Le bouilleur est constitué de deux compartiments indissociables (figure 1) :

- un compartiment procédé (boite de distribution et tubes du bouilleur 4140-31) en dépression contenant une solution d'acide dont l'activité est supérieure à 370 GBq,
- un compartiment sous pression (calandre du bouilleur 4140-31) contenant le fluide caloporteur (EF : eau surchauffée) sans activité radiologique.

Pour rappel et à titre indicatif l'évaporateur est à ce jour un EIP de rang 3.

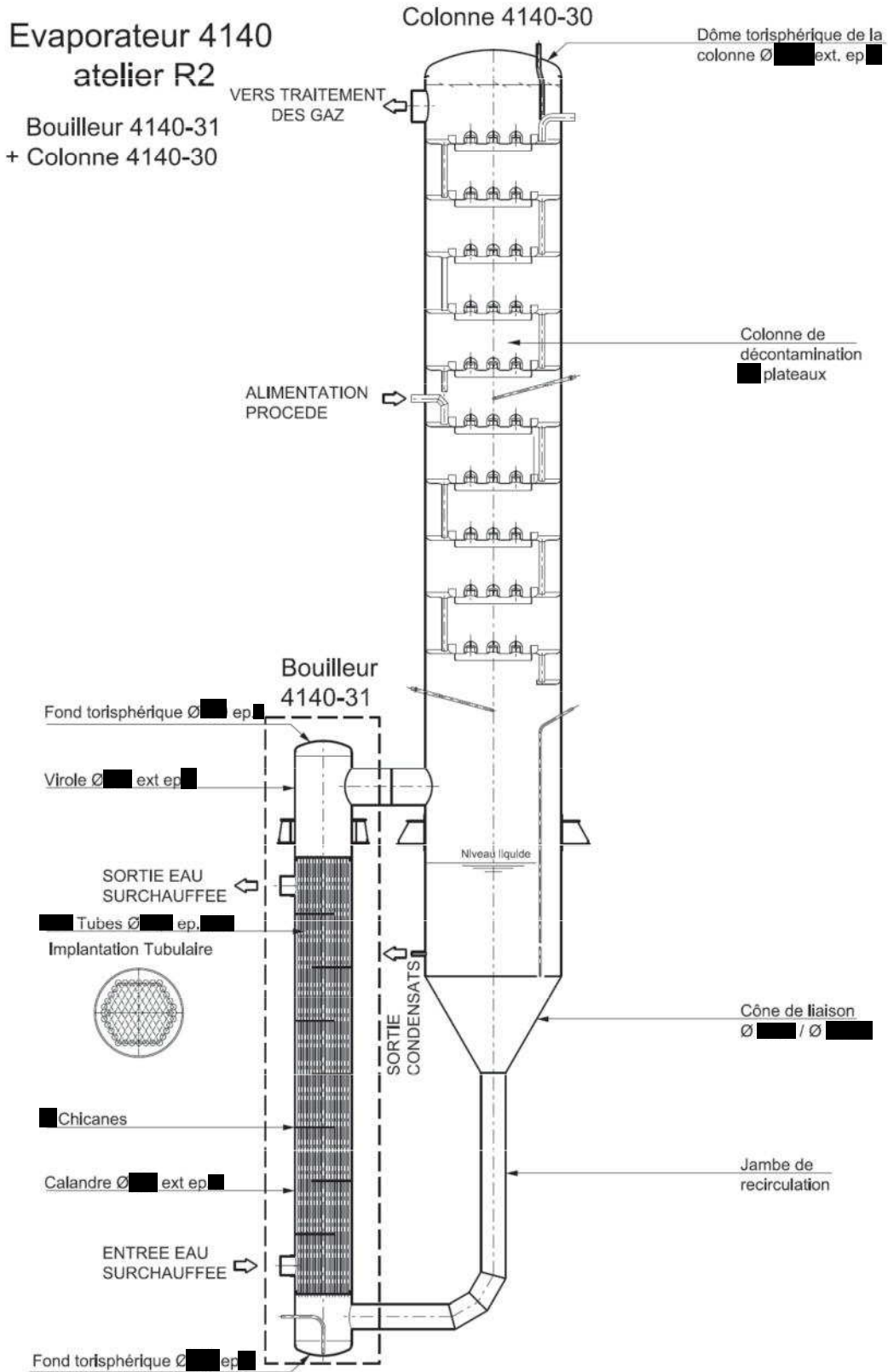


Figure 1 - Schéma descriptif du bouilleur 4140-31 et de la colonne 4140-30 de l'atelier R2

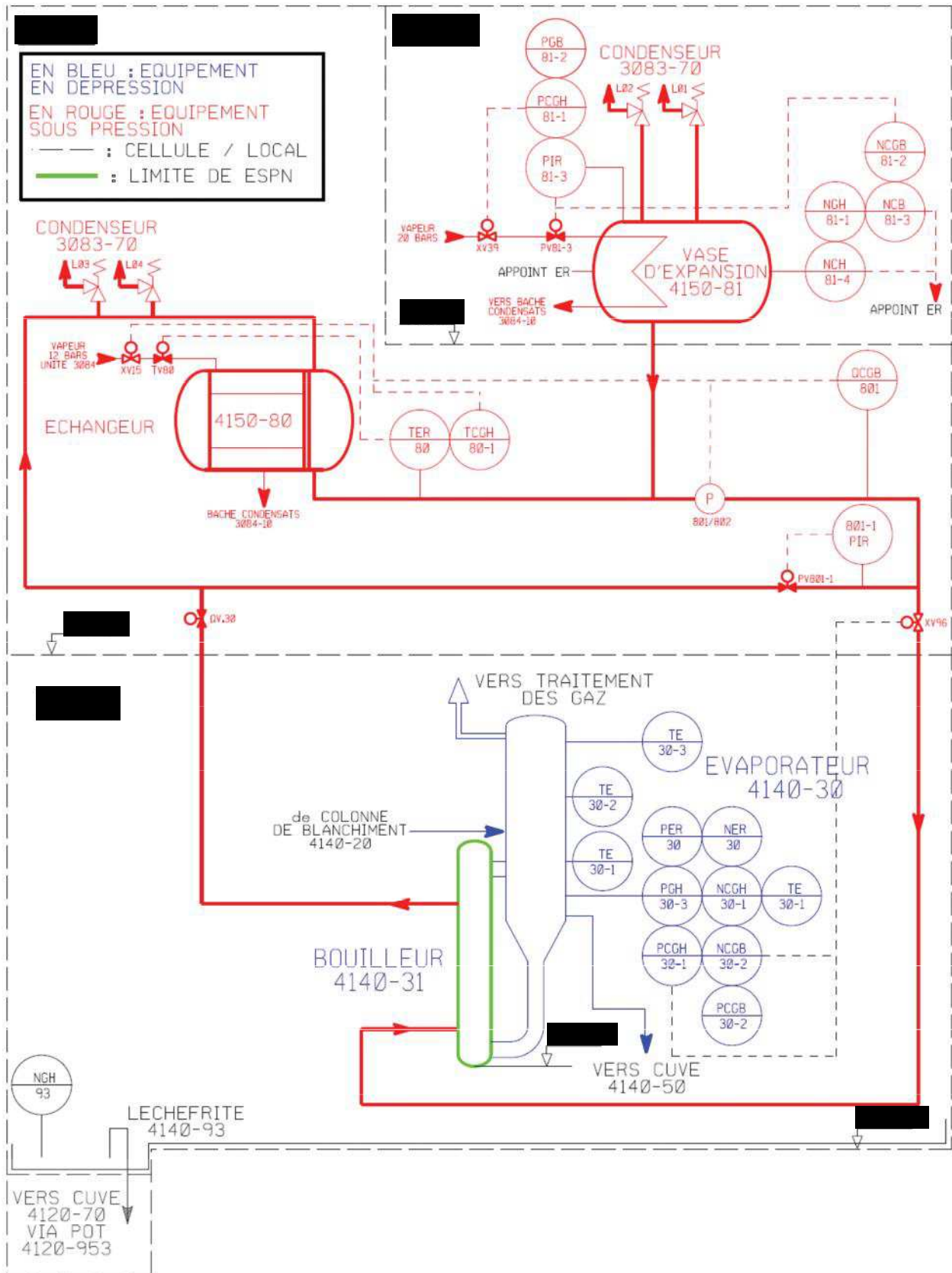


Figure 2 - Schéma de principe du bouilleur 4140-31 et son circuit caloporteur (unité 4150)

5.2 CARACTERISTIQUES DE DIMENSIONNEMENT DU COMPARTIMENT PROCÉDÉ

| Données | Unité(s) | Compartiment procédé |
|---|-------------|----------------------|
| Fluide | | Acide nitrique |
| Pression minimale / maximale de service | bar relatif | ■■■■ (PS) |
| Température maximale de Service | °C | ■■■■ (TS) |
| Volume utile | L | ■■■■ |

5.3 CARACTERISTIQUES DE DIMENSIONNEMENT DU COMPARTIMENT CALOPORTEUR

| Données | Unité(s) | Compartiment caloporteur |
|--------------------------------------|-------------|--------------------------|
| Fluide | | Eau surchauffée (EF) |
| Pression Maximale Admissible (PS) | bar relatif | ■■■■ (PS) |
| Température Maximale Admissible (TS) | °C | ■■■■ (TS) |
| Volume de la calandre | L | ■■■■ |

6 CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES

Le bouilleur 31 de l'unité 4140 de l'atelier R2 de l'INB 117 est constitué :

- d'une calandre,
- d'un faisceau de tubes,
- de deux boîtes d'entrée et sortie du fluide procédé.

Les principales caractéristiques du bouilleur 4140-31 sont les suivantes :

- hauteur totale mm,
- diamètre extérieur équipement mm,
- diamètre des tubes mm,
- volume faisceau L,
- volume calandre L,
- volume total L.

Le matériau constitutif du bouilleur 4140-31 est le .

Les épaisseurs nominales de fabrication des différents composants pour le bouilleur 4140-31 de R2 sont (Figure 3 ci-dessous) :

- Virole côté calandre mm (bleu)
- Virole côté boîte à eau supérieure mm (rouge)
- Virole côté boîte à eau inférieure mm (jaune)
- Fond torisphérique supérieur mm (vert)
- Fond torisphérique inférieur mm (rose)
- Tubes du faisceau tubulaire mm (turquoise)

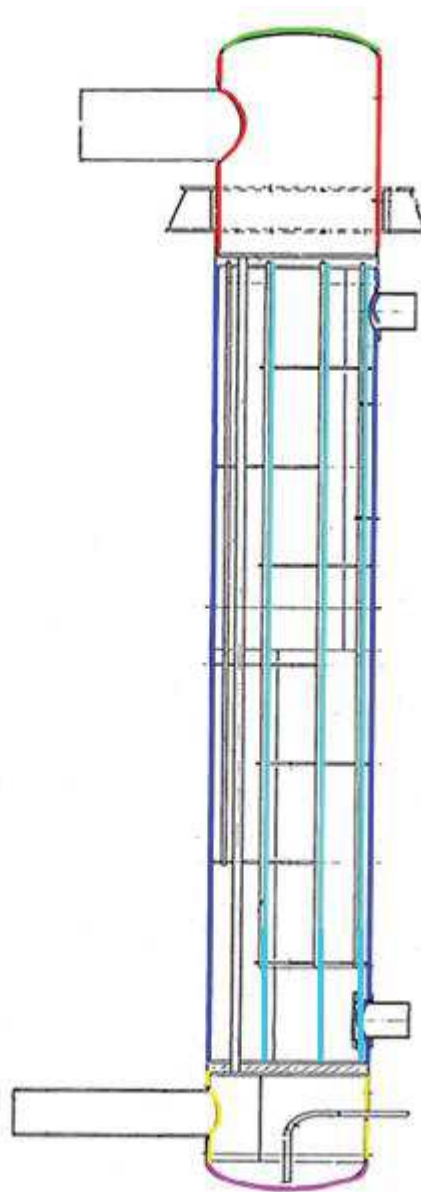


Figure 3 - Epaisseurs nominales de fabrication des tôles du bouilleur

7 EXIGENCES REGLEMENTAIRES

7.1 APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION

L'équipement a été, dès sa conception, considéré comme un ESP et soumis au décret [6] « portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux », du fait que sont soumis les appareils à pression vapeur ou eau surchauffée d'un volume supérieur à 100 L. Il a donc respecté les exigences de ce décret tant pour sa conception, sa fabrication et pour sa mise en service.

| | | |
|-------------|--|-----|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

Le bouilleur 4140 – 31 a été conçu, fabriqué (épreuve initiale le 31/01/91 à 25 bar [7]) et mis en service en mai 1994 avant l'évolution réglementaire de 1999 / 2000 (Décret 99.1046 du 13 décembre 1999 [8], Arrêté du 21 décembre 1999 [9] et Arrêté du 15/03/2000 [10]).

Il a été accordé un régime dérogatoire vis-à-vis du décret du 02/04/1926 [6] pour le suivi en exploitation compte tenu :

- de sa conception entièrement soudée sans partie démontable ;
- de la difficulté d'accéder à son contact périodiquement, sans entreprendre des actions complexes de rinçage / décontamination avec un risque résiduel important pour le personnel intervenant (exposition / non mise en sécurité des personnes, ...).

L'accord pour dérogation a été donné par lettre DRIRE en référence n°31340 du 05/06/2000 (transmis par lettre DRIRE 2000.547 du 13 juin 2000).

La dérogation a ainsi été obtenue avant l'évolution réglementaire introduite par le décret du 13/12/99 [8] et l'arrêté du 15/03/2000 [10] révisé 2005.

7.2 APPLICABLES A L'ESPN

7.2.1 Classement de l'équipement

Le bouilleur de rectification des distillats 4140-31 de l'Atelier R2 relève du classement N3 et de catégorie IV selon les exigences de l'arrêté [11].

Le fluide caloporteur (eau surchauffée) appartient aux fluides de Groupe 2.

D'après les annexes 5 et 6 de l'arrêté [2], si l'équipement est un récipient de catégorie I à IV et de niveau N1 ou de catégorie II à IV et de niveau N2 ou N3 contenant un fluide autre qu'un liquide dont la pression de vapeur, à la température maximale admissible, est supérieure ou égale à 0,5 bar au-dessus de la pression atmosphérique normale alors cet équipement est soumis à l'inspection périodique et à la requalification périodique.

Le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 est un équipement de niveau N3 et de catégorie IV, alors il est soumis à l'inspection périodique et à la requalification périodique.

7.2.2 Inspection périodique

En application de l'annexe 5 de l'arrêté [2], l'inspection périodique doit comprendre une vérification extérieure et intérieure de l'équipement ainsi qu'une vérification extérieure des accessoires de sécurité installés sur l'équipement.

D'après l'annexe 5 de l'arrêté [2], la vérification extérieure et intérieure de l'équipement porte sur toutes les parties visibles après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles.

De ce fait, comme l'explique l'annexe 3 du courrier [3], si, par conception, il n'existe aucune partie visible après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles, la vérification visuelle porte donc sur un ensemble de parties vides.

Le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 est composé d'une calandre sous pression entièrement soudé par conception et qui n'a pas d'orifice de visite, ainsi la vérification visuelle intérieure du compartiment sous pression porte sur un ensemble de parties vides.

La fiche COLEN n°24 [12] précise tout de même que « pour un équipement qui, par conception, ne présenterait aucune partie interne visible après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles, l'absence de vérification intérieure doit être prise en compte :

- par l'exploitant qui définira dans le programme des opérations d'entretien et de surveillance les modalités de contrôles adaptés aux modes de dégradation redoutés,
- par l'organisme indépendant habilité et accepté qui réalise ou fait réaliser lors de la requalification périodique de l'équipement tout examen ou essai complémentaire jugé utile. »

En application de l'annexe 5 de l'arrêté [2], l'intervalle entre deux inspections périodiques ne peut dépasser 40 mois.

7.2.3 Requalification périodique

En application de l'annexe 6 de l'arrêté [2], la requalification périodique d'un équipement comprend les opérations suivantes :

- une inspection de requalification périodique,
- une épreuve hydraulique (ou une épreuve de résistance),
- la vérification des accessoires de sécurité qui le protègent.

L'inspection de requalification périodique comprend :

- une vérification intérieure et une vérification extérieure de l'équipement, y compris des assemblages permanents réalisés sur l'équipement et des accessoires sous pression installés sur l'équipement,
- une vérification de l'existence et de l'adéquation du dossier descriptif, de la notice d'instructions et du dossier d'exploitation,
- tout examen ou essai complémentaire jugé utile par l'organisme ou le service d'inspection reconnu.

Elle porte sur toutes les parties visibles après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles.

L'épreuve est réalisée au vu des résultats favorables de l'inspection. Elle consiste à maintenir l'équipement à une pression égale à 120 % de la pression maximale admissible PS.

Dans le cas d'un équipement multi-compartmenté, l'épreuve hydraulique s'applique à tous les compartiments dont la pression maximale admissible est supérieure à 0,5 bar relatif. En effet, aucune épreuve hydraulique n'est à prévoir sur un compartiment qui ne peut fonctionner qu'en dessous de 0,5 bar relatif. Ainsi, si un compartiment ne peut fonctionner qu'en dessous de 0,5 bar relatif comme c'est le cas du compartiment nucléaire du bouilleur 4140-31 de R2 (voir § 5.2), aucune épreuve hydraulique n'est à réaliser.

En effet, il est précisé dans l'annexe 1 du courrier [13] que « la mise en pression du compartiment nucléaire en dépression n'est pas une exigence réglementaire ».

En application de l'annexe 6 de l'arrêté [2], le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 est un récipient sur lequel les critères de classement des fluides de groupe 1 sont à appliquer, l'intervalle entre deux requalifications périodiques ne peut donc dépasser 5 ans (soit 60 mois).

8 OBSTACLES A LA MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS REGLEMENTAIRES

8.1 ENVIRONNEMENT DE L'ESPN

Le bouilleur 4140-31 est situé dans une cellule en zone inaccessible au personnel [REDACTED] en dépression par rapport aux locaux adjacents accessibles et par rapport à la pression atmosphérique au moyen du réseau de ventilation bâtiment.

La cellule d'implantation du bouilleur est une cellule chimique classée zone 4 (zone rouge). La cellule est donc entièrement fermée.

L'épaisseur des murs en béton armé de la cellule [REDACTED] est de :

- voile de cellule Ouest [REDACTED] m,
- voile de cellule Sud [REDACTED] m,
- voile de cellule Est [REDACTED] m,
- voile de cellule Nord [REDACTED] m.

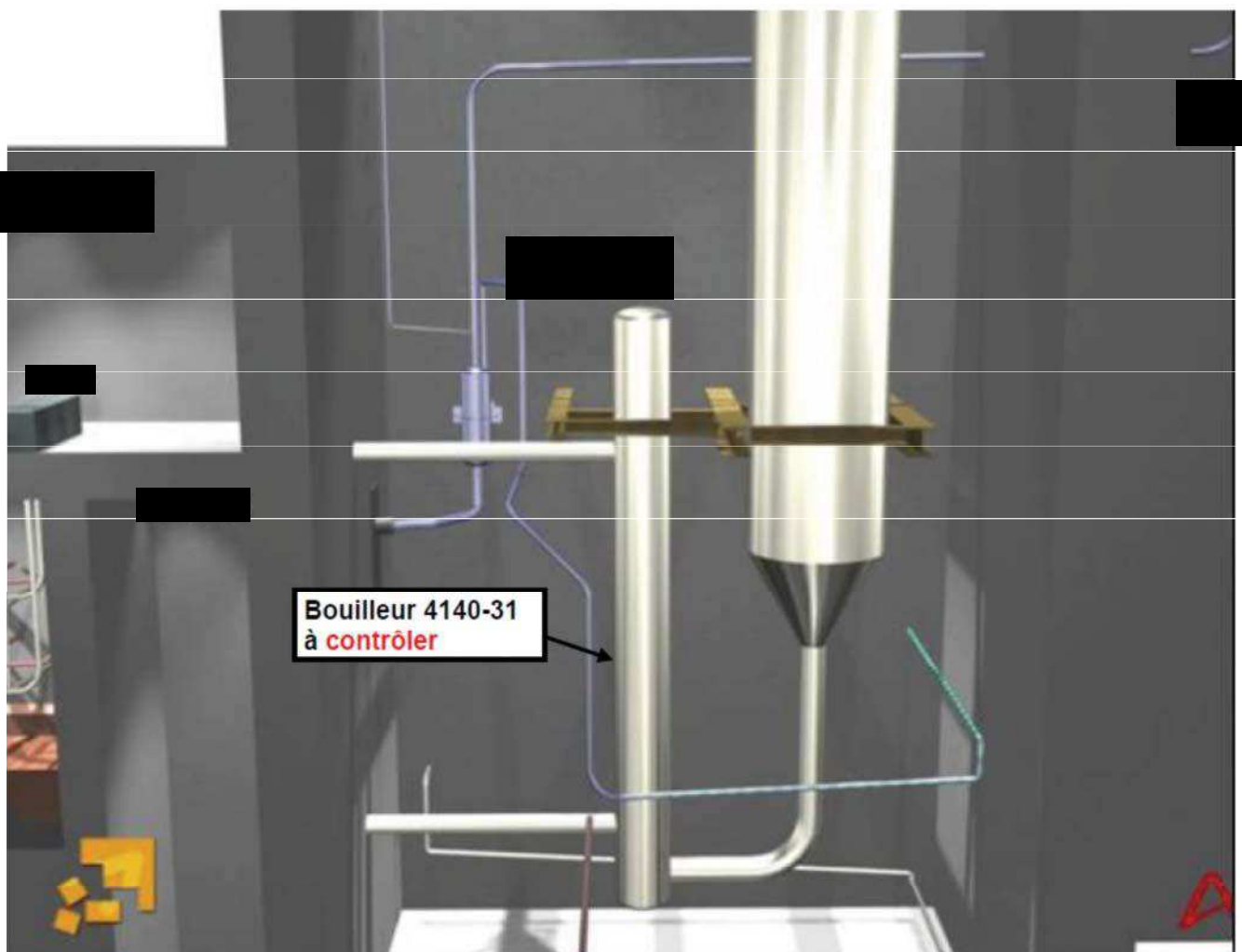


Figure 4 – Schéma de l'ESPN dans son environnement

8.2 ACCESSIBILITE A L'EQUIPEMENT

L'équipement est situé dans une cellule chimique. En conformité avec les standards de conception de l'usine de la Hague des passages d'endoscope au nombre de deux existent sur le voile entre la cellule [REDACTED] et la zone 3 adjacente (loca [REDACTED]). De plus, un mur de baryte existe entre la cellule [REDACTED] et le loca [REDACTED].



Figure 5 – Fourreaux d'endoscope



Figure 6 – Mur de baryte

L'implantation du bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 en zone inaccessible (débit de dose non compatible avec accès personnel) rend les inspections réglementaires impossibles.

8.3 EXAMEN VISUEL

Le bouilleur est un équipement sous pression nucléaire à multi compartiments :

- compartiment sous pression : entièrement soudé pour éviter les risques de fuite en zone 4 et ne dispose pas de parties démontables permettant d'effectuer les inspections visuelles internes,
- compartiment nucléaire : constitué d'un faisceau de tubes entièrement soudé.

L'examen visuel interne du compartiment sous pression et du compartiment nucléaire est impossible puisque ces compartiments sont entièrement soudés. La performance intrinsèque pour la vérification visuelle intérieure de ces compartiments est donc égale à 0.

L'examen externe des parois de l'équipement est possible mais limité pour tous les compartiments compte tenu de l'implantation de l'équipement en zone 4 et des possibilités d'introduction de moyens de vision à distance. La performance intrinsèque pour la vérification visuelle extérieure dépend de la surface qui peut être inspectée.

Pour la calandre (compartiment caloporteur) la surface extérieure inspectable est considérée de façon pénalisante comme étant comprise entre 10 et 20%, la performance intrinsèque de la vérification visuelle extérieure vis-à-vis de la détection de fissuration externe et de perte d'épaisseur externe est donc égale à 1.

Pour le compartiment nucléaire, la surface extérieure inspectable est considérée de façon pénalisante comme étant comprise entre 10 et 20%, la performance intrinsèque de la vérification visuelle extérieure vis-à-vis de la détection de fissuration externe et de perte d'épaisseur externe est donc égale à 1.

Le compte rendu de l'inspection réalisé sur site, en présence d'un organisme habilité, en avril 2016 est consultable dans la note [14].

8.4 MISE EN PRESSION (EPREUVE HYDRAULIQUE)

8.4.1 Compartiment nucléaire

Dans le cas d'un équipement multi-compartimenté tel que le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2, le compartiment nucléaire est en dépression en fonctionnement normal, ainsi aucune épreuve hydraulique n'est réalisée sur le compartiment nucléaire. La performance intrinsèque de ce geste compensatoire est donc égale à 0. La performance intrinsèque du geste réglementaire d'épreuve hydraulique sur le compartiment nucléaire est prise égale à 0 puisque le compartiment ne peut fonctionner qu'en-dessous de 0,5 bar relatif (cf. § 5.2).

8.4.2 Compartiment sous pression

Le test en pression du compartiment caloporteur a été effectué en 2011 [15].

8.5 PERIMETRE DE LA DEMANDE DE DISPOSITIONS PARTICULIERES

La vérification partielle extérieure de l'équipement compte tenu des éléments suivants :

- l'implantation dans une cellule de zone 4 dont l'ouverture induit une exposition élevée des intervenants (ambiance radiologique),
- le nombre limité de passages d'endoscope,

motive la demande d'aménagement pour l'application des dispositions particulières de suivi en service de cet équipement.

9 ESTIMATION DE LA PROBABILITE DE LA DEFAILLANCE

Conformément à la méthode d'élaboration d'un dossier de demande de conditions particulières d'application du titre III du décret du 13 décembre 1999 [8] aux ESPN [2], l'analyse du niveau de sécurité de l'équipement doit être réalisée de manière itérative, en partant de la situation réelle de l'équipement, puis, si besoin, en intégrant les mesures complémentaires à mettre en œuvre au fur et à mesure de l'analyse et de la connaissance de l'équipement.

Les facteurs à considérer pour l'estimation de ce niveau de sécurité sont définis dans [3] :

- Facteur Fabrication,
- Facteur Etat,
- Facteur Dégradation.

9.1 DETERMINATION DU FACTEUR FABRICATION

« Le facteur fabrication concerne tous les éléments qui permettent d'évaluer le niveau de qualité de fabrication de l'équipement et le niveau de confiance que l'on peut attribuer à cette qualité. Il est basé sur un dossier de fin de fabrication et l'état descriptif de l'équipement.

Ces éléments peuvent être complétés par des expertises de l'équipement incluant des contrôles directement sur l'équipement, des reprises de calculs,....

Les niveaux de probabilité sont définis comme suit :

- **Niveau 1** : Equipement conforme à un code de construction ou à une norme harmonisée et dont le dossier de fabrication est complet,
- **Niveau 2** : Equipement conforme aux règles de l'art ou équipement dont les éléments pertinents du dossier de fabrication ont été reconstitués par l'exploitant sur la base de données du fabricant, quel que soit le référentiel de construction (code, norme, règles de l'art,...),
- **Niveau 3** : Absence de dossier de fabrication de l'équipement ».

| | | |
|-------------|--|-----|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

9.1.1 Dossier descriptif

L'équipement a été conçu conformément au référentiel réglementaire et normatif de l'époque et par rapport aux standards de conception, il dispose d'un dossier descriptif complet [16].

Le Dossier Descriptif de l'équipement [16] est conforme à la réglementation de l'époque et conforme à la réglementation actuelle au travers de son contenu :

- notes de calcul ;
- plans d'ensemble ;
- plans de détails ;
- procédures et qualification (LOFC, cahier de soudage, PV de qualification des modes opératoires de soudage, qualification des soudeurs, procédure de CND, etc.) ;
- documents de contrôles et épreuves (contrôle des approvisionnements, certificats matière, PV d'état des lieux, PV de contrôle dimensionnel, PV de CND, plans de repérage radios, etc.) ;
- documents essais et recette (PV d'examen visuel, PV d'épreuve d'étanchéité et de résistance, PV de contrôle dimensionnel, plan d'identification matières, etc.).

9.1.2 Matériau

Le matériau utilisé pour la fabrication est [REDACTED] [17].

Le [REDACTED] est la nuance utilisée pour les applications en milieu nitrique de retraitement du combustible usé, lorsque le comportement en corrosion des nuances d'aciers inoxydables ne suffit pas. Ainsi son domaine d'utilisation se limite aux milieux nitriques chauds et/ou concentrés, lorsque la présence d'ions oxydants est suspectée ou avérée. Milieux pour lesquels le [REDACTED] reste dans son domaine passif avec une morphologie de corrosion uniforme et généralisée.

Un soudage homogène avec du [REDACTED] comme métal d'apport a été effectué [18].

Un suivi rigoureux de la qualité des demi-produits a été réalisé tout au long du processus d'approvisionnement lors de la fabrication du Bouilleur 4140-31. L'ensemble des exigences de qualité d'élaboration du [REDACTED] a été pris en compte par l'intermédiaire de la définition de critères de qualité et de contrôles, pour l'approvisionnement matière concernant la qualité des tôles, des tubes sans soudures, des barres, pièces forgées et métal d'apport utilisés dans la construction des évaporateurs.

9.1.3 Présentation du dossier de calcul

Il est principalement composé des documents suivants (par ordre chronologique) ;

- La note de calcul statique [19] en date du 06/09/1990.
- L'Etude en fatigue fluage des soudures tube-plaque tubulaire du bouilleur R2 4140-31 [20] datée du 19/04/91
- La note de calcul statique modèle éléments finis BOUILLEUR 4140-31 de l'atelier R2 [21], datée du 19/12/2017 pour la justification d'une épaisseur consommable.
- La note de calcul thermomécanique [22] du faisceau de tubes, datée du 19/12/2017

9.1.3.1 Dossier de calcul initial

9.1.3.1.1 Note de calcul statique

L'équipement a été dimensionné de la manière suivante [19] :

- Codes de calcul :

- ASME III division 1 sous section NC 3300, édition 89
- Bulletin WRC 107 pour les contraintes locales dues aux efforts extérieurs des tuyauteries agissant sur les piquages.
- TEMA pour le calcul des plaques tubulaires

- Cas de chargement :

| | | | |
|-----------------------------------|-----|-------------|---------------|
| - CONDITIONS DE SERVICE | | | |
| | | Cote tubes | Cote calandre |
| Pression | MPa | [REDACTED] | |
| Dépression | MPa | [REDACTED] | |
| Température | °C | [REDACTED] | |
| - CONDITIONS ACCIDENTELLES | | | |
| | | Cotes tubes | Cote calandre |
| Pression | MPa | [REDACTED] | |
| Dépression | MPa | [REDACTED] | |
| Température | °C | [REDACTED] | |
| - CONDITIONS D'EPREUVE | | | |
| | | Cotes tubes | Cote calandre |
| Pression | MPa | [REDACTED] | |
| Dépression | MPa | [REDACTED] | |
| Température | °C | [REDACTED] | |

- Calcul des plaques tubulaires

Les plaques tubulaires sont calculées avec les conditions suivantes :

| | | Calandre | | Chambre | |
|------------|-----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| | | Pression (MPa) | Température (°C) | Pression (MPa) | Température (°C) |
| Normal | Mise en chauffe | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Régime nominal | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | refroidissement | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Incidentel | Mise en chauffe | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Régime nominal | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | refroidissement | ■ | ■ | ■ | ■ |

- Contraintes admissibles

Le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2 est réalisé en ■■■■■. Les caractéristiques suivantes sont déduites du code ASME.

| MATERIAUX | TEMPERATURE AMBIANTE 20 °C | | | TEMPERATURE CALCUL 140 °C | | | TEMPERATURE CALCUL 195 °C | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|
| ■■■■■ | Sy MPa | Su MPa | E* MPa | Sy MPa | Su MPa | E* MPa | Sy MPa | Su MPa | E* MPa |
| ■■■■■ | | | | | | | | | |

avec :

Sy = limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %
R_t = résistance à la traction
E* = module d'élasticité
ρ = ■■■■ Kg/M³ masse volumique
ν = ■■■■ coefficient de Poisson

La contrainte admissible issue du code ASME est :

à 140 °C S = ■■■■ MPa
à 195 °C S = ■■■■ MPa

Nota : La valeur des contraintes admissibles retenues dans le calcul d'origine était :

Contrainte admissible S = R_t / 4,

selon dérogation DRIRE en référence n°31340 du 05/06/2000 (transmis par lettre DRIRE 2000.547 du 13 juin 2000).

- Hypothèses générales :

Pas de surépaisseur de corrosion

Tolérance de fond: - 15% soit [redacted] mm pour des fonds en ep nominales de [redacted] mm

Tolérance de virole: [redacted] mm

Pas de tolérance pour les tubes du faisceau tubulaire (tolérances d'approvisionnement : [-0 ; +10 %])

9.1.3.1.2 Etude en fatigue fluage des soudures tube-plaque tubulaire

Le bouilleur 4140-31 de R2, n'ayant pas de soufflet de dilatation, les contraintes dans les soudures tubes-plaques tubulaires (zone la plus sensible au phénomène de fatigue-fluage) ont été vérifiées dans la note [20].

La vérification est effectuée suivant les règles du RCC-MR.

Les données du calcul sont les suivantes :

En fonctionnement normal :

| | Arrêt | Mise en chauffe | Régime nominal | Refroidissement |
|---------------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Température tubes (°C) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |
| Température Calandre (°C) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |
| Pression tubes (Bar) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |
| Pression calandre (Bar) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |

En fonctionnement incidentel :

| | Arrêt | Mise en chauffe | Régime nominal | Refroidissement |
|---------------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Température tubes (°C) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |
| Température Calandre (°C) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |
| Pression tubes (Bar) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |
| Pression calandre (Bar) | [redacted] | [redacted] | [redacted] | [redacted] |

- Code de calcul pour les contraintes dans les tubes du faisceau : TEMA édition 89

- Méthode de calcul de dimensionnement en fatigue fluage : programme SFLUAGE

Dans le cadre de la prévention des dommages de type S, l'objectif consiste dans la détermination du taux d'usage en fatigue et du taux d'usage à rupture. Le programme SFLUAGE fournit la valeur du nombre de cycles admissibles et le taux d'usage à rupture par cycle à partir des variations de contrainte associées à un cycle et des données matériau.

Les résultats du calcul sont les suivants :



| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT NORMAL

| | | |
|------------------------------|---|------------|
| TEMPERATURE DE CALCUL | : | ██████████ |
| CONTRAINTES SIGTOT INITIALE | : | 200.30 MPa |
| DEFORMATION EPS1 | : | .205 % |
| CONTRAINTES SIGMA* INITIALE | : | 177.99 MPa |
| DEFORMATION ELAS.+ PLAS. | : | .231 % |
| CONTRAINTES MOYENNE PRIMAIRE | : | 8.94 MPa |
| CONTRAINTES SIGMAK | : | 179.95 MPa |

| | | |
|----------------------------|---|-------------------|
| A T=1000. HEURES | | |
| CONTRAINTES SIGMAK | : | 79.95 MPa |
| DEFORMATION DE FLUAGE | : | .459 % |
| DEFORMATION TOTALE | : | .689 % |
| TAUX D"USAGE A RUPTURE | : | .69964E-08 |
| NOMBRE DE CYCLE ADMISSIBLE | : | ██████████ CYCLES |

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT INCIDENTEL

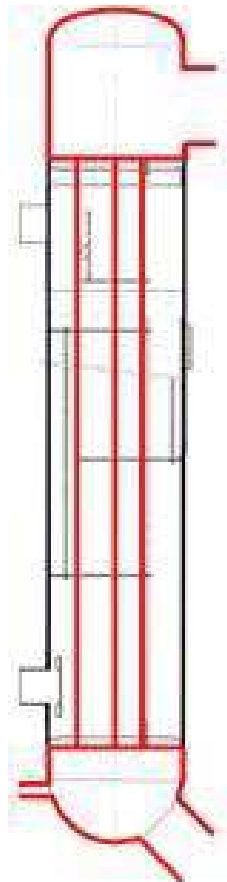
| | | |
|------------------------------|---|------------|
| TEMPERATURE DE CALCUL | : | ██████████ |
| CONTRAINTES SIGTOT INITIALE | : | 274.80 MPa |
| DEFORMATION EPS1 | : | .281 % |
| CONTRAINTES SIGMA* INITIALE | : | 231.35 MPa |
| DEFORMATION ELAS.+ PLAS. | : | .334 % |
| CONTRAINTES MOYENNE PRIMAIRE | : | 8.94 MPa |
| CONTRAINTES SIGMAK | : | 232.35 MPa |

| | | |
|----------------------------|---|-------------------|
| A T=1000. HEURES | | |
| CONTRAINTES SIGMAK | : | 86.63 MPa |
| DEFORMATION DE FLUAGE | : | .626 % |
| DEFORMATION TOTALE | : | .960 % |
| TAUX D"USAGE A RUPTURE | : | .11012E-05 |
| NOMBRE DE CYCLE ADMISSIBLE | : | ██████████ CYCLES |

9.1.3.2 Dossier complémentaire de calcul

9.1.3.2.1 Calcul statique pour la justification d'une épaisseur consommable

La note de calcul d'origine [19] ne prenait pas en compte de surépaisseur de corrosion, un complément de calcul en élément fini, avec prise en compte d'une épaisseur consommable pour les parois de l'équipement en contact avec le fluide procédé (voir schéma ci-dessous) a donc été réalisé [21].



Parois en contact avec le fluide procédé (en rouge).



- Epaisseur consommable et tolérances de fabrication

La tenue du thermosiphon 4140-31 de R2 est vérifiée en fonctionnement normal, avec prise en compte des épaisseurs consommables ci-dessous :

- mm sur les tubes côté fluide procédé
- mm sur le reste du côté fluide procédé
- mm sur le reste de l'équipement.

Les tolérances d'approvisionnement considérées sont :

- Tolérance de fond: - 15%
- Tolérance de piquages: ■ mm
- Tolérance de virole: ■ mm

- Logiciel de calcul :

La modélisation et le calcul sont réalisés à l'aide du logiciel ANSYS.

- Codes de calcul :

RCC-MR Edition 2007 Règles de Conception et de Construction des Matériels mécaniques des îlots nucléaires

- Conditions de calcul :

Les conditions de calcul du thermosiphon 4140-31 de R2 sont retranscrites ci-dessous :

| | | |
|---------------------------|---------------------------|--|
| Pression dans la calandre | | |
| Pression dans les tubes | | |
| Situation normale | Température max. Calandre | |
| | Température max. Tubes | |
| Situation accidentelle | Température max. Calandre | |
| | Température max. Tubes | |

Nota : Les conditions du calcul statique sont identiques à celles retenues pour le calcul thermomécanique (cf §9.1.3.2.3)

En situation de ré-épreuve, la pression d'essai est considérée à 2*Ps soit ■ bars dans la calandre à 20°C. Les tubes sont considérés pleins d'eau et non soumis à la pression.



- Caractéristiques matériaux

Le thermosiphon est en [REDACTED]. Les caractéristiques de ce matériau sont retranscrites ci-dessous :

Le module d'Young E du [REDACTED] est donné en fonction de la température :

| | | | | |
|---------------|------------|-----|-----|-----|
| Θ (°C) | 20 | 100 | 150 | 200 |
| E (MPa) | [REDACTED] | | | |

La limite d'élasticité à 0,2% minimale est donnée en fonction de la température par cette formule :

$$(R_{p0.002})_{min} = 216,79 - 0,58978. \theta$$

La résistance à la traction minimale est donnée en fonction de la température par cette formule :

$$(R_m)_{min} = 398,46 - 0,94232. \theta$$

La contrainte équivalente admissible est donnée par cette formule :

$$S_m = \min\left(\frac{1}{3} R_m(20)_{min}, \frac{2}{3} R_{p0.002}(20), \frac{1}{3} R_m(\theta)_{min}, \frac{2}{3} R_{p0.002}(\theta)\right)$$

La contrainte maximale admissible dépendante du temps $S_t(t, \theta)$ en MPa est donnée en fonction de la température θ en °C et du temps t en heure par ces formules :

$$S_t(t, \theta) = 211. t^{(-1/32,6)} \quad \text{pour } \theta = 20^\circ\text{C}$$

$$S_t(t, \theta) = \max\left(145. t^{(-\frac{1}{24,2})}; 100\right) \quad \text{pour } \theta = 100^\circ\text{C}$$

$$S_t(t, \theta) = \max\left(116. t^{(-\frac{1}{22,1})}; 100\right) \quad \text{pour } \theta = 150^\circ\text{C}$$

$$S_t(t, \theta) = \max\left(114,2. t^{(-\frac{1}{20,6})}; 100\right) \quad \text{pour } \theta = 200^\circ\text{C}$$

La contrainte admissible S_t dépendante du temps, est déterminée pour un temps de fonctionnement $t = 100\,000\text{h}$.

Avec :

Θ = Température (°C)

E = Module d'Young (MPa)

$R_{p0.002}$ = Limite d'élasticité à 0,2% (MPa)

R_m = Résistance à la traction (MPa)

S_m = Contrainte équivalente admissible (MPa)

t = Temps (h)

S_t = Contrainte maximale admissible dépendante du temps (MPa)

La masse volumique du [REDACTED] kg/m³ à 20°C.

- **Contraintes admissibles :**

Les contraintes admissibles déterminées à partir des caractéristiques matériaux sont :

| Ensembles | Température (°C) | Contrainte équivalente admissible S_m (MPa) | Contrainte maximale admissible dépendante du temps S_t (MPa) |
|------------------------------|------------------|---|--|
| Tubes et boîtes d'extrémités | 20 °C | ■ MPa | - |
| | 167 °C | ■ MPa | ■ MPa |
| Calandre | 20 °C | ■ MPa | - |
| | 195 °C | ■ MPa | ■ MPa |

- **Chargement :**

SITUATION DE FONCTIONNEMENT

En situation de fonctionnement, les cas de chargements unitaires ci-dessous sont considérés :

Cas 1 : Poids Propre – (LC1)

Une accélération de $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ suivant la direction verticale ascendante (+Y) est appliquée.

Pression hydrostatique :

La pression hydrostatique relative due au liquide dans la calandre est considérée telle que :

$$p_{hydro}(y) = 9,81 * \rho * (y - y_0)$$

Avec :

- ρ : Masse volumique du liquide : $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ pour l'eau surchauffée dans la calandre et $\rho = 1300 \text{ kg.m}^{-3}$ pour l'acide dans les tubes et boîte à eau
- y_0 : Coordonnée verticale de l'interface Air/liquide

La pression hydrostatique maximale vaut 36,98 kPa.

Cas 2 : Tubes sous pression – (LC2)

La pression maximale dans les tubes est considérée et la calandre est considérée en dépression, soit :

- bar dans les tubes et boîtes d'extrémités
- bar dans la calandre

La pression appliquée dans les tubes est de ■ bars.

De plus, la pression hydrostatique ainsi que les effets de fond sont considérés.



Cas 3 : Calandre sous pression – (LC3)

La pression minimale dans les tubes est considérée et la calandre est considérée sous pression, soit :

■ bars dans les tubes et boites d'extrémités
 ■ bars dans la calandre

La pression appliquée dans les tubes est de ■ bars.

De plus, la pression hydrostatique ainsi que les effets de fond sont considérés.

Cas 4 : Déplacements et torseurs au droit des piquages – (LC4)

Au droit des piquages P8 et P9 des déplacements imposés sont considérés dans la direction verticale. Ces déplacements correspondent au différentiel de dilatation entre le bouilleur 4140-31 et la colonne 4140-30.

Ces déplacements sont retranscrits ci-dessous :

| Cas PP+P+Thermique (■) | |
|------------------------|-------------------|
| Piquage | Différentiel (mm) |
| P8 | 0,03 |
| P9 | -2,37 |

Au droit des piquages P5 et P6, les torseurs réels, issus des notes de calcul de flexibilité des tuyauteries d'arrivée et de départ en eau surchauffée sont considérés, pour le cas Poids Propre + Pression + Thermique. Ces torseurs sont retranscrits, dans le repère global du modèle éléments finis, ci-dessous :

| Cas PP+P+Thermique (■) | | | | | | |
|------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Piquage | Fx (N) | Fy (N) | Fz (N) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) |
| P5 | 5 | 201 | 427 | 296 | 706 | 463 |
| P6 | 68 | 926 | 206 | 164 | 294 | 638 |

Combinaisons de chargements :

Les combinaisons suivantes sont considérées :

Poids Propre + Pression dans les tubes : LC10 = LC1 + LC2 + LC4

Poids Propre + Pression dans la calandre : LC11 = LC1 + LC3 + LC4

SITUATION DE RE-EPREUVE

Cas 5 : Pression d'épreuve – (LC5)

En situation de ré-épreuve, la pression de 2*Ps est considérée dans la calandre, soit ■ bars. Les tubes sont considérés pleins en acide mais non soumis à la pression.

Les calculs sont menés à 20°C.

De plus, la pression hydrostatique ainsi que les effets de fond sont considérés.

Cas 6 : Déplacements au droit des piquages – (LC6)

En situation de ré-épreuve, les calculs sont menés à 20°C, la dilatation thermique n'étant pas prise en compte, aucun déplacement n'est considéré entre les piquages P8 et P9. De plus, les boîtes d'extrémités sont considérées non soumises à la pression d'épreuve.

Les notes de calculs de calcul de flexibilité des tuyauteries d'arrivée et de départ en eau surchauffée fournissent les torseurs aux piquages P5 et P6 pour le cas Poids Propre + Pression, avec une pression à ■ bars.

En situation d'épreuve, la pression considérée est de ■ bars. De manière pénalisante, les torseurs fournis dans les notes réf.[NT2] et [NT3] sont majorés d'un facteur ■ soit :

| Cas PP+Pe ■ | | | | | | |
|-------------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|
| Piquage | Fx (N) | Fy (N) | Fz (N) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) |
| P5 | 4*1,92 | 613*1,92 | 88*1,92 | 35*1,92 | 151*1,92 | 239*1,92 |
| P6 | 22*1,92 | 613*1,92 | 18*1,92 | 8*1,92 | 34*1,92 | 269*1,92 |

Combinaisons de chargements :

La combinaison suivante est considérée :

Poids Propre + Pression d'essai : LC12 = LC1 + LC5 + LC6

- **Vérifications :**

En contraintes primaires :

La contrainte équivalente primaire générale de membrane $\overline{P_m}$ doit vérifier :

$$\overline{P_m} \leq S_m(\theta)$$

La contrainte équivalente primaire locale de membrane $\overline{P_L}$ doit vérifier :

$$\overline{P_L} \leq 1,5 * S_m(\theta)$$

La contrainte équivalente primaire de membrane plus flexion $\overline{P_L + P_b}$ doit vérifier :

$$\overline{P_L + P_b} \leq 1,5 * S_m(\theta)$$

Contraintes dans les tubes :

Limitations des contraintes dues à la pression

La contrainte équivalente due à la pression P_m doit vérifier l'inégalité suivante :

$$\overline{P_m} \leq S_m$$

Avec :

- $\overline{P_m} = P * \frac{De - 2yh}{2h}$ pour les parties droites
- P : La pression interne des tubes :
 - o Au cas Poids Propre + Pression dans les tubes : [REDACTED] bars
 - o Au cas Poids Propre + Pression dans la calandre : [REDACTED] bars
 - o Au cas Poids Propre + Pression d'essai : [REDACTED] bars
- De : Le diamètre extérieur des tubes : De = [REDACTED] mm
- h : L'épaisseur des tubes : h = [REDACTED] mm
- y = 0,4
- S_m : La contrainte admissible des tubes

Limitation des contraintes dues à la pression et aux moments dus aux forces

La contrainte équivalente due à la pression et aux moments dépendant des forces, $P_m + P_b$ est déterminée à partir des efforts dans les tubes et doit vérifier l'inégalité suivante :

$$\overline{P_m + P_b} \leq 1,3S_m$$

Avec :

- $\overline{P_m + P_b} = B_1 P * \frac{De}{2h} + \frac{B_2}{Z} M_R + \frac{N_1}{2\pi r_m h}$ pour les parties droites
- r_m : Le rayon moyen des tubes
- Z : Le module d'inertie des tubes
- B₁ = 0,5 et B₂ = 1 : Les coefficients de contraintes
- N₁ : L'effort normal dans les tubes
- M_R : Le moment résultant dépendant des forces : $M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$

De plus, afin de prendre en compte le vieillissement thermique du matériau, le critère suivant doit être vérifié en tout point de la structure :

$$\overline{P_m} + \Phi \overline{P_b} \leq S_t$$

Avec $\Phi = 0,88$ pour un tube de section circulaire.

$$\overline{P_b} = \text{La contrainte primaire de flexion déterminée telle que } \overline{P_b} = \overline{P_m + P_b} - \overline{P_m}$$

9.1.3.2.2 Résultats du calcul statique :

La note de calcul [21] justifie donc l'équipement 4140-31 de R2, selon RCC-MR, pour les épaisseurs minimales suivantes :

- fonds torisphériques : [REDACTED] mm ;
- virole côté boîte à eau supérieure : [REDACTED] mm ;
- virole côté boîte à eau inférieure : [REDACTED] mm ;
- viroles côté calandre : [REDACTED] mm ;
- plaques tubulaires : [REDACTED] mm ;
- tubes du faisceau tubulaire : [REDACTED] mm.

9.1.3.2.3 Vérification en fatigue-fluage et définition d'un nombre de cycle admissible en fatigue:

A partir du modèle éléments finis de la note [21], un calcul thermomécanique et une détermination du nombre de cycles admissibles pour une tenue en fatigue en considérant du fluage, du faisceau de tubes du thermosiphon 4140-31 de R2 est réalisé dans la note [22].

Les évolutions de température du fluide caloporteur et du fluide procédé sur les transitoires de chauffe et de refroidissement ont été déterminées en fonctionnement normal et en fonctionnement accidentel.

Le cycle complet de fonctionnement est décomposé en trois phases :

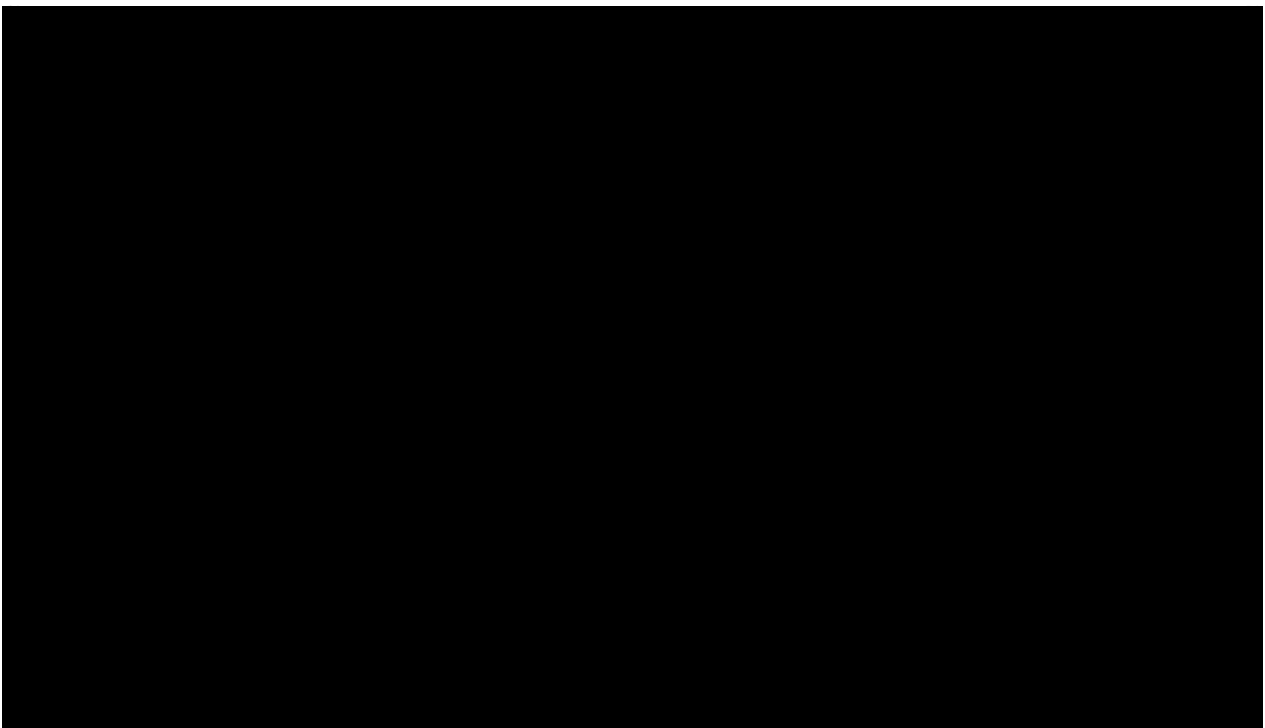
- La phase de chauffe
- La phase de concentration
- La phase de refroidissement.

La durée d'un cycle complet est de [REDACTED].

Durant la phase de concentration, l'eau surchauffée (EF) est maintenue à sa température de fin de montée [REDACTED]°C en fonctionnement normal et [REDACTED]°C en situation accidentelle). Le refroidissement de l'EF est réalisé par pertes thermiques au niveau de la calandre (refroidissement en convection naturelle avec l'air ambiant de la cellule). La phase de refroidissement n'engendre pas de sur-contraintes. Cette phase n'est donc pas étudiée dans la note [22]. Seule la phase de chauffe génère des variations de contraintes au niveau du thermosiphon générant un risque de rupture par fatigue.

A partir des relevés de températures de l'EF et de la solution procédée lors d'un cycle de chauffe, l'évolution de la température des tubes est déterminée.

Situation normale :

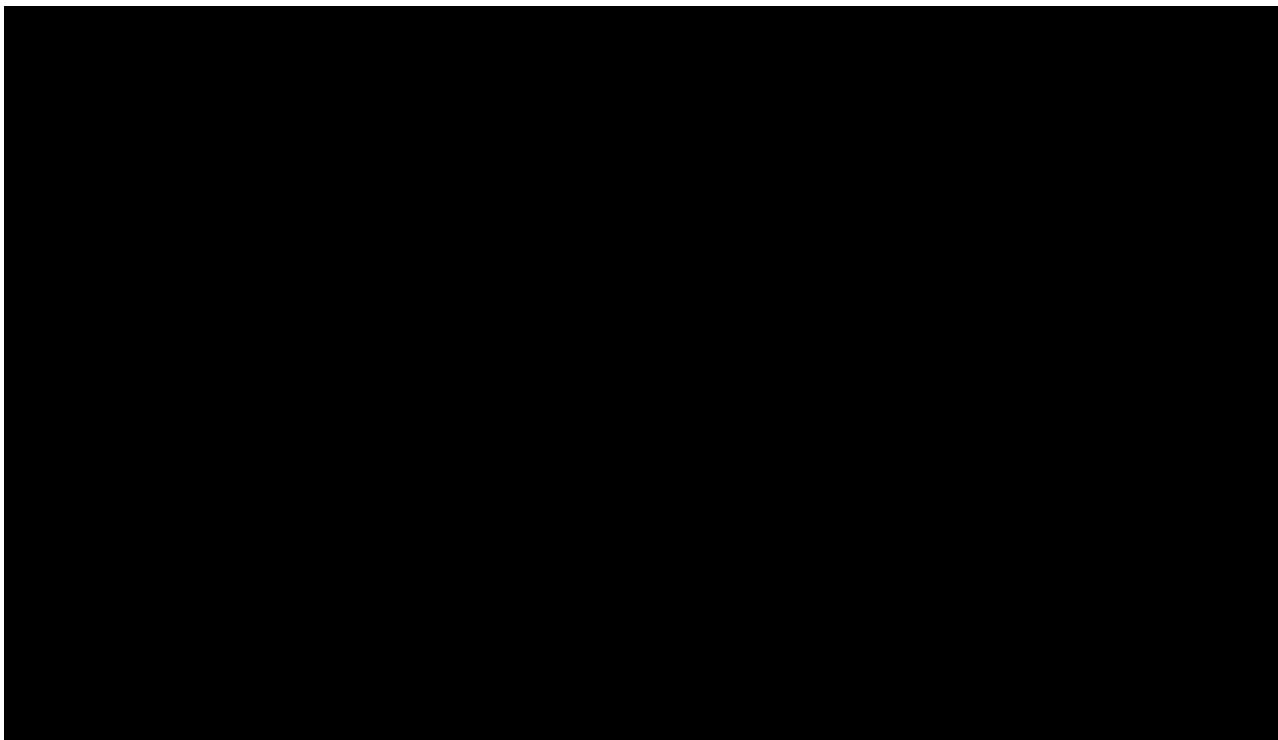


Evolution des températures de l'EF, de la solution et du faisceau de tubes du thermosiphon 4140-31 - phase de chauffe en situation normale

Les écarts de températures les plus élevés, engendrant les variations de contraintes les plus importantes, sont considérées dans le calcul en fatigue, soit :

| Temps (mn) | Température EF (°C) | Température tubes (°C) | Ecart de température max (°C) |
|------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| | | | |

Situation exceptionnelle :



Evolution des températures de l'EF, de la solution et du faisceau de tubes du thermosiphon 4140-31 - phase de chauffe en situation accidentelle

Nota : les conditions en phase accidentelle sont déterminées par prolongation de la pente de chauffe jusqu'à la TS de [redacted] °C.

Les écarts de températures les plus élevés, engendrant les variations de contraintes les plus importantes, sont considérées dans le calcul en fatigue, soit :

| Temps (mn) | Température EF (°C) | Température tubes (°C) | Ecart de température max (°C) |
|------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| | | | |

Méthode de calcul en fatigue :

Pour déterminer les nombres de cycles admissibles, les étapes suivantes sont réalisées :

- Calcul des contraintes mécaniques au pas de temps le plus pénalisant à partir des transitoires thermiques fournis pour la phase de fonctionnement déterminante (phase de chauffe),
- Calcul de la variation de contrainte mécanique issue du chargement thermique du cycle de fonctionnement normal
- Calcul de la variation de contrainte mécanique issue du chargement en pression entre les phases
- Combinaison des variations maximales de contraintes thermique et mécanique entre les phases
- Calcul du nombre de cycles admissibles et du taux d'usage à rupture à l'aide de la macro AREVA « SFLUAGE ».

- **Chargement :**

En situation normale, les cas de chargements unitaires ci-dessous sont considérés :

| Cas de chargements unitaires | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------|-------|-----------------|-------|
| N° LC | Cas de charge | Type d'analyse | Températures (°C) | | Pressions (bar) | |
| | | | Calandre | Tubes | Calandre | Tubes |
| 1 | Thermosiphon en chauffe - Normale | Analyse thermomécanique | | | | |
| 2 | Tubes sous pression | Analyse en pression | - | - | | (*) |
| 3 | Calandre sous pression | Analyse en pression | - | - | | (*) |

(*) : La pression totale considérée dans les tubes correspond à la combinaison de la pression intérieure du tube, présentée dans le tableau, et la pression extérieure du tube égale à la pression dans la calandre. Soit ■■■ bars au LC2 et ■■■ bars au cas LC3).

Les combinaisons de cas de chargements unitaires suivantes sont étudiées :

| Combinaisons de calcul | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| N° LC | Combinaison | Détail |
| 22 | Variation de pression | LC22 = LC2 - LC3 |
| 23 | Cycle normal de chauffe | LC23 = LC1 + LC22 |

En situation accidentelle, les cas de chargements unitaires ci-dessous sont considérés :

| Cas de chargements unitaires | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------|-----------------|-------|
| N° LC | Cas de charge | Type d'analyse | Températures (°C) | | Pressions (bar) | |
| | | | Calandre | Tubes | Calandre | Tubes |
| 4 | Thermosiphon en chauffe | Analyse thermomécanique | | | | |
| 2 | Tubes sous pression | Analyse en pression | - | - | | (*) |
| 3 | Calandre sous pression | Analyse en pression | - | - | | (*) |

Les combinaisons de cas de chargements unitaires suivantes sont étudiées :

| Combinaisons de calcul | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------|
| N° LC | Combinaison | Détail |
| 22 | Variation de pression | LC22 = LC2 - LC3 |
| 24 | Cycle accidentel de chauffe | LC23 = LC1 + LC22 |

- **Vérfications :**

Vérification au vieillissement thermique : (même calcul que dans la note [21])

Vérification liée à la déformation progressive :

Pour prévenir de l'apparition de la déformation progressive, le critère ci-dessous doit être respecté conformément au RCC-MR.

$$\max(\overline{P_L + P_B}) + \overline{\Delta Q} \leq 3 \cdot S_m \cdot J_m$$

Avec

- $\max(\overline{P_L + P_B})$: Valeur maximale de la contrainte équivalente de la somme des contraintes primaires
- $\overline{\Delta Q}$: Valeur de la variation de contrainte secondaire
- S_m : Contrainte admissible du matériau
- J_m : Coefficient caractéristique de la soudure : $J_m = 1$ pour $\theta < 375^\circ\text{C}$

Pour la vérification de la résistance des soudures à la fatigue, les variations de contraintes totales sont multipliées par un facteur de réduction de résistance à la fatigue f, lié aux contrôles et types de joints soudés.

Facteur de réduction de résistance à la fatigue :

Les soudures des tubes sur les plaques tubulaires sont considérées comme des joints soudés de type IV. Le facteur de réduction de résistance à la fatigue f est pris égal à f = 4.

Pour les soudures présentes aux jonctions entre les plaques tubulaires et la calandre, un coefficient f de 2 est considéré.

Détermination des variations de contraintes calculées :

- Variation de la contrainte totale $\Delta\sigma_{tot}$:

$$\Delta\sigma_{tot} = \Delta\sigma_{max}^{m+f} (Primaire) + \Delta\sigma_{max}^{m+f} (Secondaire)$$

Pour un joint soudé, il faut considérer :

$$\Delta\sigma_{tot} = f \cdot [\Delta\sigma_{max}^{m+f} (Primaire) + \Delta\sigma_{max}^{m+f} (Secondaire)]$$

Avec f=2 ou 4

- Moyenne contrainte primaire $MoyP$:

$$MoyP = \Delta\sigma_{max}^{m+f} (Primaire)$$

- Variation de la contrainte primaire ΔP_2 :

$$\Delta P_2 = \Delta\sigma_{max}^m (Primaire) + \frac{2}{3} \cdot \Delta\sigma_{max}^f (Primaire)$$

Avec :

$$\Delta\sigma_{max}^f (Primaire) = \Delta\sigma_{max}^{m+f} (Primaire) - \Delta\sigma_{max}^m (Primaire)$$

9.1.3.2.4 Résultats de l'analyse en fatigue-fluage :

Le calcul du nombre de cycle admissible pour le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2, est présenté pour la zone la plus sensible en termes de fatigue-fluage : la soudure tube sur plaque.

En fonctionnement normal les contraintes dans les tubes sont :

Pour le fonctionnement normal :

$$\Delta\sigma_{tot} = \blacksquare \text{ MPa.}$$

$$MoyP = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\Delta P_2 = \blacksquare \text{ MPa}$$

Pour le fonctionnement incidentel :

$$\Delta\sigma_{tot} = \blacksquare \text{ MPa.}$$

$$MoyP = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\Delta P_2 = \blacksquare \text{ MPa}$$

Le nombre de cycle admissible en pression et température pour l'évaporateur 4140-31 de R2, est de

$$N_{admissible (P,T)} = \blacksquare \text{ cycles en fonctionnement normal}$$

$$N_{admissible (P,T)} = \blacksquare \text{ cycles, en fonctionnement incidentel}$$

Le suivi en service de l'équipement, par le comptage du nombre de cycles réels en fatigue subis par l'équipement, permet de calculer le taux d'usage de l'équipement. De façon conservatrice, on ne considèrera dans le calcul du taux d'usage, que le nombre de cycles admissibles en fonctionnement normal.

Tant que l'équipement respecte, avec Nr = Nombre de cycles réels subis,
 $(Nr (T) + Nr (P)) / N_{\text{admissible (P, T)}} < 1,$

le risque de fissuration par fatigue n'est pas à craindre par l'équipement.

9.1.4 Niveau du facteur de fabrication de l'équipement

Compte tenu de la conformité du dimensionnement à un code de construction et des documents du dossier descriptif [16], le niveau du facteur de fabrication de l'équipement est un facteur de **Niveau 1**.

9.2 DETERMINATION DU FACTEUR ETAT

« Ce facteur évalue l'état de l'équipement par rapport à des dégradations avérées. Il est basé sur l'état réel de l'ESPN à ce jour, et doit prendre en compte les incertitudes liées à la caractérisation de cet état.

Le niveau de ce facteur, pour un équipement présentant des dégradations, est à définir en fonction de la caractérisation de ces dégradations et de l'estimation de leur évolution en service au regard des marges de sécurité définies à la conception de l'équipement.

Les niveaux de probabilité sont définis comme suit :

- **Niveau 1 :**
 - Equipement ne présentant aucune dégradation ou,
 - Equipement présentant des dégradations pour lesquelles l'exploitant peut garantir de façon certaine que leur évolution en service, estimée de façon conservative, permet de maintenir les marges de sécurité du même ordre de grandeur que celles présentes à la conception ou,
 - Equipement sensible à des modes de dégradation ou de vieillissement dont l'exploitant peut justifier qu'ils ont été spécifiquement pris en compte à la conception (dimensionnement avec des propriétés estimées en fin de vie, surépaisseur de corrosion,...) et de garantir que leurs évolutions en service, estimées de façon conservative, restent couvertes par les hypothèses considérées à la conception.

- **Niveau 2 :** Equipement ne se situant pas dans le cas précédent, présentant des dégradations pour lesquelles l'exploitant considère que leur évolution en service, estimée de façon conservative, confèrera à l'équipement, à la fin de sa durée de fonctionnement prévue, une résistance du même ordre de grandeur que la résistance minimale définie à la conception, dans le respect des marges de sécurité.

- **Niveau 3 :** Equipement présentant des dégradations pour lesquelles l'exploitant ne peut garantir que leur évolution en service, estimée de façon conservative, confèrera à l'équipement une résistance au moins égale à la résistance minimale définie à la conception, dans le respect des marges de sécurité, à la fin de sa durée de fonctionnement prévue. ».

9.2.1 Modes de dégradation

Au vu des conditions d'exploitation, les modes de dégradation potentiels (cf. § 9.3.1) retenus pour le bouilleur 4140-31 de R2 sont :

- la corrosion par dissolution uniforme et généralisée du fait du contact de la paroi avec une solution d'acide nitrique chaude ;
- la fatigue-fluage du fait de cycles en température et en pression suivant les différentes phases de fonctionnement de l'équipement.

Les phénomènes de dégradation avérés liés à ces modes de dégradation sont :

- pour la corrosion uniforme et généralisée : la perte d'épaisseur ;
- pour la fatigue-fluage : le risque de fissuration pour un nombre de cycles de fonctionnement au-delà du nombre admissible en fatigue, en particulier pour les zones les plus sollicitées en fatigue.

L'état réel de l'équipement peut être déterminé par rapport à chacun de ces phénomènes à l'aide des surveillances suivantes :

- pour l'état général de l'équipement : un examen visuel des zones accessibles ;
- pour la perte d'épaisseur par corrosion uniforme et généralisée : des mesures de l'épaisseur résiduelle sur des zones accessibles ;
- pour le risque de fissuration par fatigue-fluage : le suivi de l'historique de fonctionnement pour surveiller que le nombre de cycles subis par l'équipement reste inférieur au nombre de cycle admissible en fatigue sur les zones les plus sollicitées.

L'état actuel du bouilleur 4140-31 de R2 est décrit dans les parties suivantes selon ces 3 axes de surveillance.

9.2.2 Etat général par examen visuel de l'équipement

Le dernier examen visuel du bouilleur 4140-31 de R2 a été réalisé en avril 2016 [14].

Au regard des contraintes d'accessibilité et des méthodes d'investigation disponibles, la partie basse du bouilleur (externe) ainsi que l'environnement de l'équipement (supportages, ancrages) ont été inspectés (cf. figure 7).

L'équipement ne présente pas de défauts, ni de déformations aux parties visibles. Les soudures sont propres et sans défaut apparent.

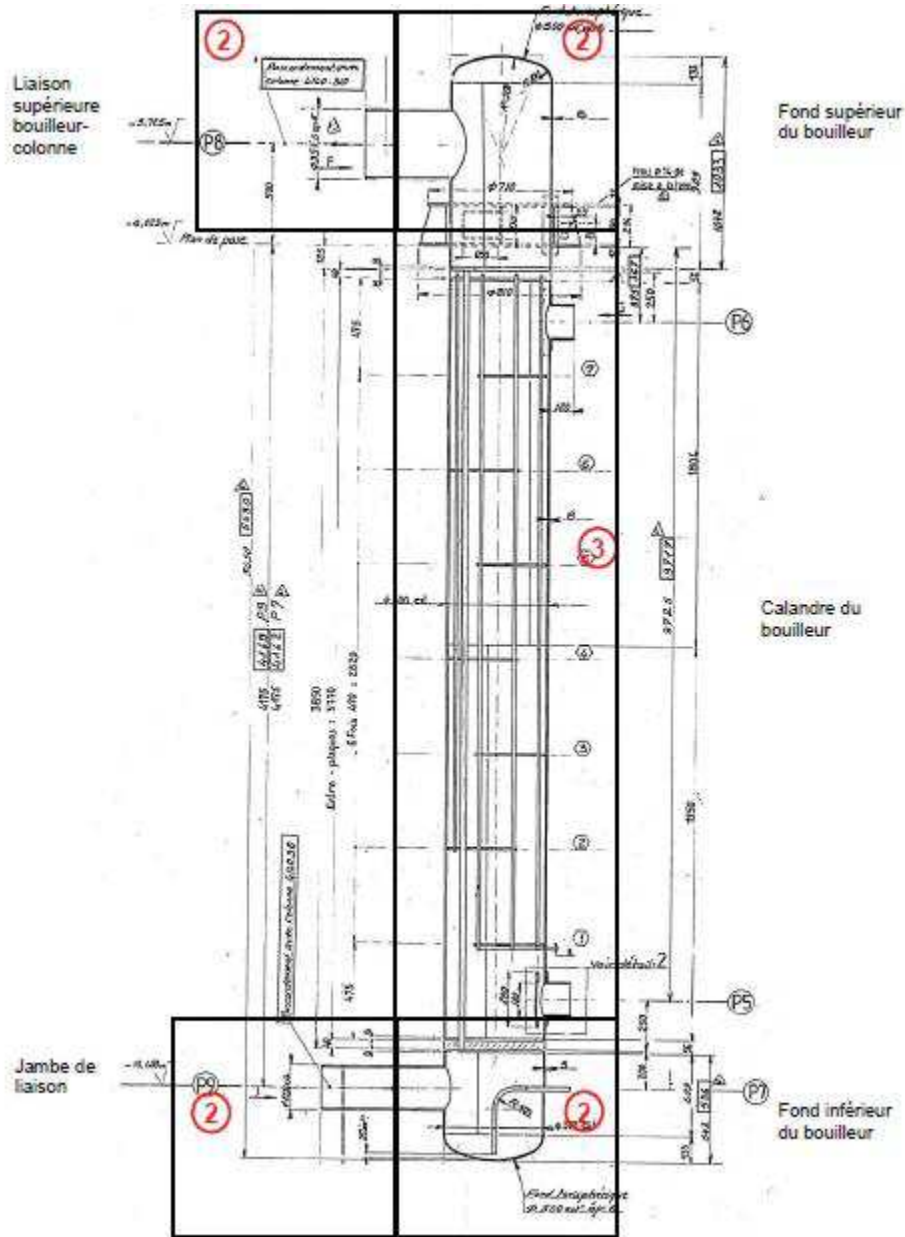


Figure 7 : Zones du bouilleur 4140-31 de R2 accessibles lors de l'investigation visuelle [14]



Figure 8 : Photo du fond inférieur du bouilleur 4140-31 de R2 (Avril 2016) [14]



Figure 9 : Photo de la partie inférieure de la calandre du bouilleur 4140-31 de R2 (Avril 2016) [14]

9.2.3 Mesures d'épaisseur sur l'équipement

9.2.3.1 Caractérisation théorique idéale

Dans le cas idéal les mesures d'épaisseur sont réalisées dans les Zones Identifiées les plus Sensibles (ZIS) (cf. § 9.3.2.1.1) avec un nombre de points de mesures suffisant.

9.2.3.2 Caractérisation réelle

9.2.3.2.1 Mesure d'épaisseur sur l'enveloppe externe de l'équipement

L'évaporateur 4140-31 de R2 est situé en zone 4 (cellule [REDACTED]). Le voile de la salle adjacente est muni de fourreaux d'endoscopes. Les mesures d'épaisseur sont réalisées via ces fourreaux à l'aide d'une perche manuelle et d'une sonde ultrason.

Les campagnes de mesures d'épaisseur sur le bouilleur 4140-31 de R2 ont été réalisées en février 2006 [23], en août 2014 [24] et en avril 2016 [25]. La localisation des mesures d'épaisseurs réalisées lors de ces campagnes et les résultats des mesures d'épaisseur sont présentés en figure 10.

Les épaisseurs mesurées sont comprises dans les tolérances d'approvisionnement et sont supérieures à l'épaisseur nominale.

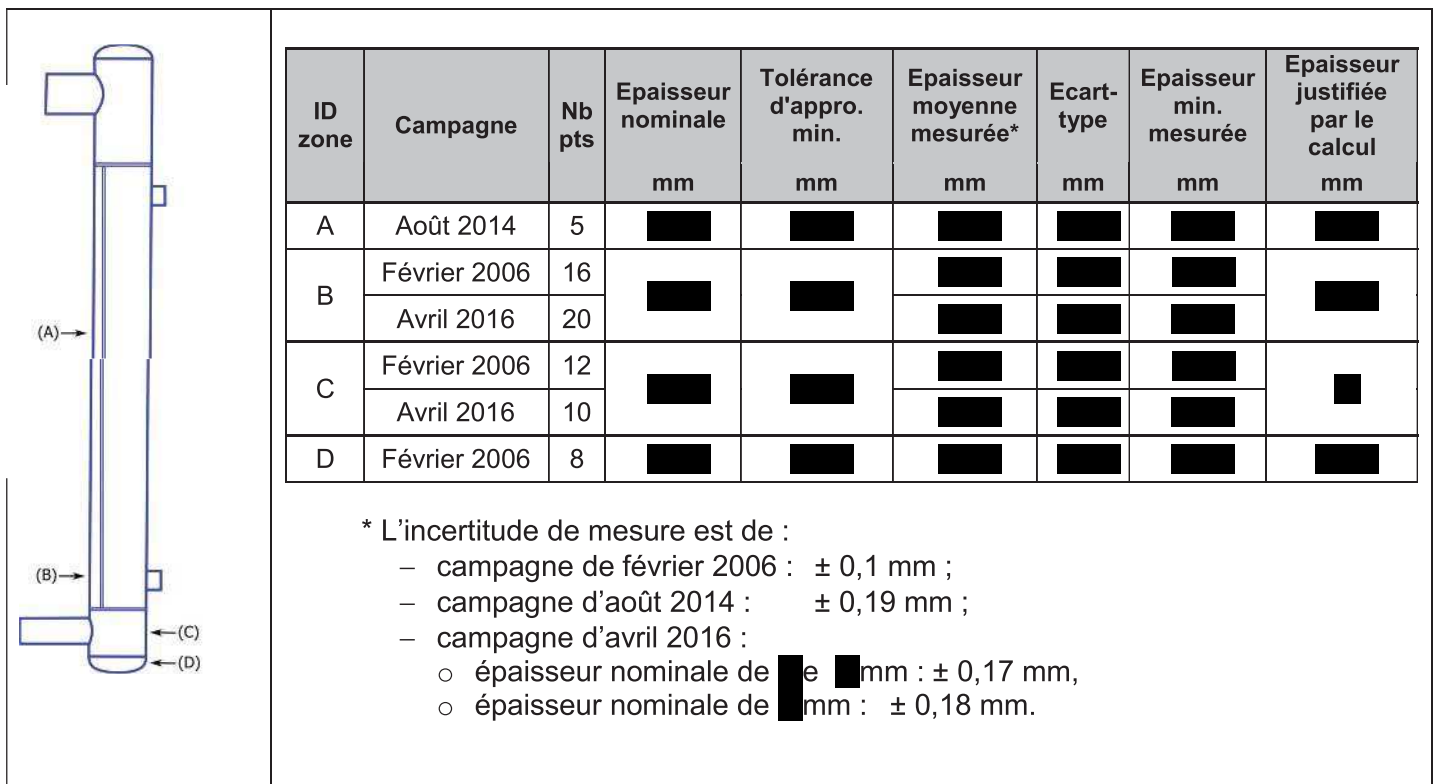


Figure 10 : Cartographie et résultats des mesures d'épaisseurs sur le bouilleur 4140-31 de R2

9.2.3.2.2 *Mesure d'épaisseur sur les tubes interne de l'équipement*

Des mesures d'épaisseurs des parois des tubes du faisceau tubulaire ont été réalisées au contact avec la méthode Mexibus (méthode non intrusive qui permet, à l'aide de capteurs ultra-son sur la calandre, de mesurer l'épaisseur des tubes situés en périphérie du bouilleur) en février 2006 [23]. La localisation des mesures est présentée sur les figures 11 et 12, les mesures ont été effectuées en partie basse de ■ tubes à une altimétrie proche de l'arrivée d'eau surchauffée (cf figure 11). Les résultats de ces mesures sont présentés dans le tableau 1. L'épaisseur nominale des tubes est de ■ mm [-0 ; +10%].

Nota :

Actuellement les débits de doses en cellule, même après rinçages de l'équipement, ne permettent plus la réalisation de mesures d'épaisseur au contact. De fait, l'utilisation de la méthode Mexibus telle que déployée en 2006 est rendue impossible.

| Zone 1 | | Zone 2 | | Epaisseur justifiée par le calcul mm |
|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|--|
| Repère tube | Epaisseur mesurée* mm | Repère tube | Epaisseur mesurée* mm | |
| | | | | |

**Tableau 1 : Résultats des mesures d'épaisseurs sur les tubes du bouilleur 4140-31 de R2
Campagne février 2006**

* L'incertitude de mesure est de $\pm 0,2$ mm.

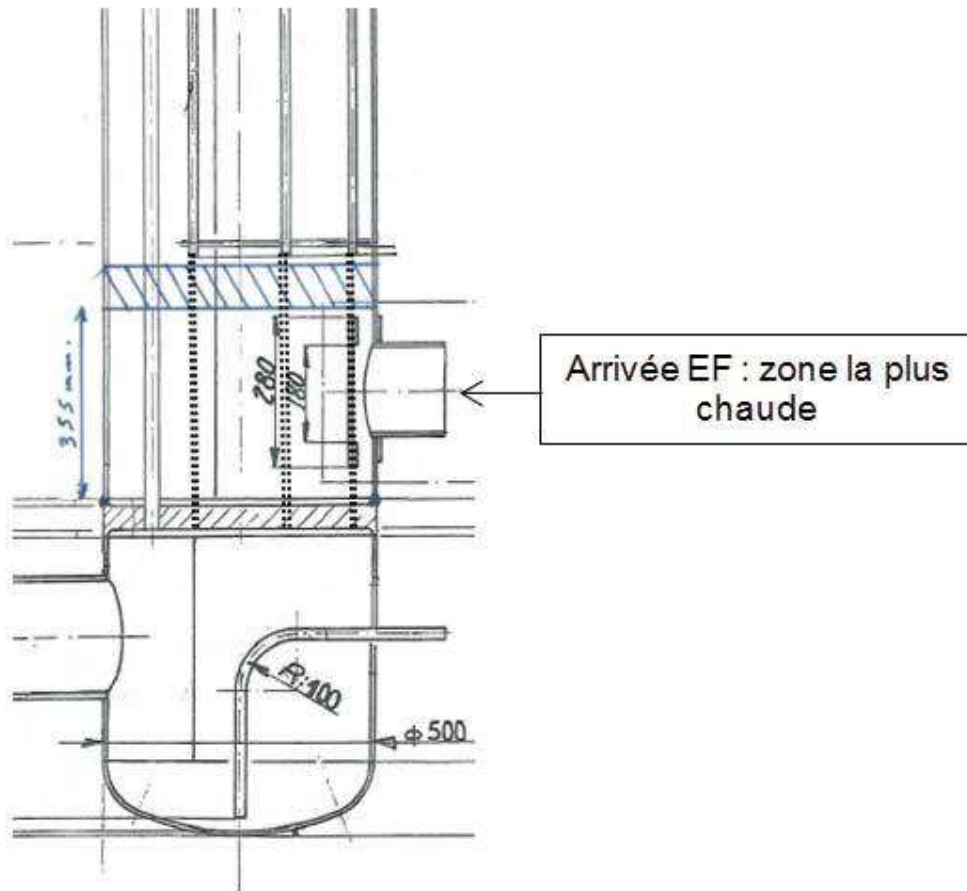


Figure 11 : Localisation de la zone de mesures des tubes (zone bleu hachurée) – Bas du bouilleur 4140-31 de R2

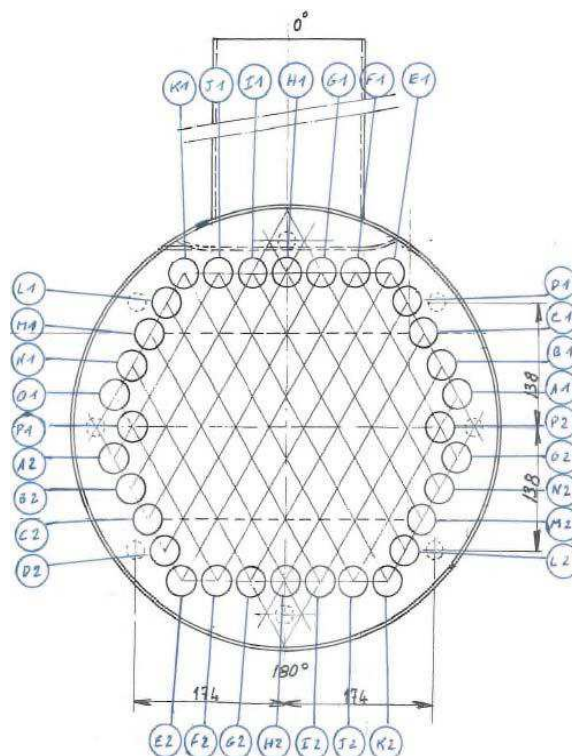


Figure 12 : Repérage des tubes – Bouilleur 4140-31 de R2

Les résultats de mesures montrent des valeurs comprises dans les tolérances d'approvisionnement.

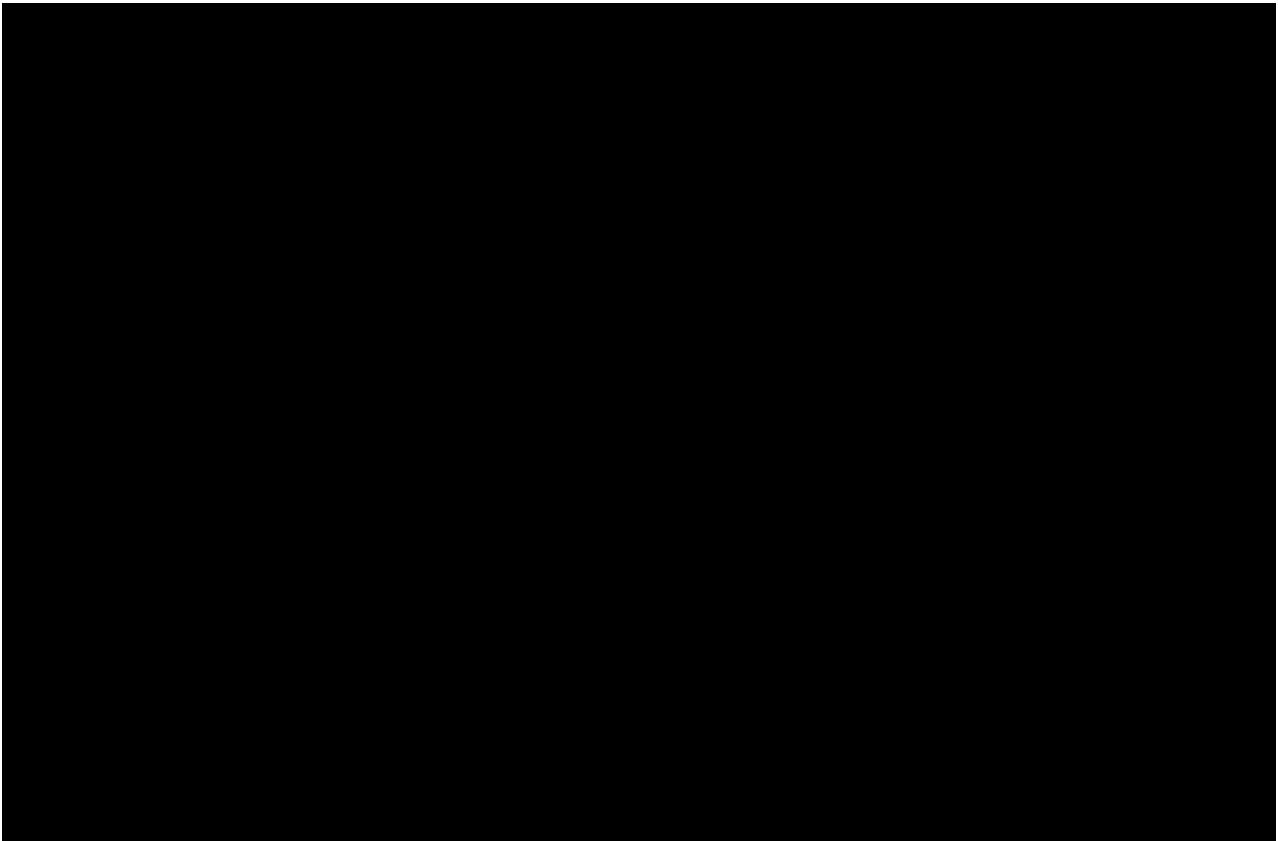


Figure 13 : Evolution de l'épaisseur des tubes du bouilleur 4140-31

Les résultats des mesures montrent l'absence de perte d'épaisseur sur les tubes du faisceau tubulaire (Tableau 1 et Figure 13) .Toutes les mesures sont comprises dans les tolérances d'approvisionnement.

Les tubes constituent la zone la plus chaude de l'équipement et sont donc considérés comme la zone sensible (ZIS) aux potentiels phénomènes de corrosion. Cependant, après 12 ans de fonctionnement, les tubes du bouilleur conservent des épaisseurs comprises dans les tolérances de fabrication. On ne constate aucune perte d'épaisseur par corrosion.

En l'absence de dégradation constatée sur les tubes, ni sur les autres parties de l'équipement, son fonctionnement est prévu au-delà de [REDACTED]. La durée minimale de fonctionnement (DMF) est supérieure [REDACTED].

| Zone | DMF (année) |
|-------|-------------|
| Tubes | [REDACTED] |

Tableau 2 : DMF garantie à ce jour – Bouilleur 4140-31 de R2

9.2.3.2.3 Conservatismes

[Redacted]

[Redacted]

9.2.4 Suivi de l'historique de fonctionnement

9.2.4.1 Suivi des cycles en fatigue du bouilleur

Comme il a été déterminé au §9.1.3.2.2, le nombre de cycles admissibles en fonctionnement normal est $N_{adm.} = \blacksquare$ cycles.

Un historique des cycles thermique et pression a été constitué [26].

Le tableau 3 suivant présente la comparaison du nombre de cycles réellement subis par l'équipement avec le nombre de cycles admissibles. A la fin 2015, le taux d'endommagement par fatigue constaté est de $\blacksquare\%$.

| Nombre de cycles admissibles Pression / Température | Nombre de cycles réels Pression / Température | Critère : $N_{réel}(P \text{ et } T^\circ) / N_{adm}(P \text{ et } T^\circ) < 1$ |
|--|--|---|
| \blacksquare Cycles | \blacksquare Cycles | \blacksquare |

Tableau 3 – Taux d'endommagement par fatigue du bouilleur 4140-31 de R2

Au vu des résultats obtenus pour le bouilleur 4140-31 de R2 qui a été mis en service en 1994, le phénomène de fissuration par fatigue n'est pas à craindre pour l'équipement avant \blacksquare .

Le nombre de cycles de sollicitation de l'équipement est suivi en exploitation, au titre de sa contribution à la surveillance de l'exploitation.

9.2.4.2 Historique des paramètres de fonctionnement

Le suivi de l'historique de fonctionnement du bouilleur 4140-31 de R2 est présenté ci-dessous. Les analyses chimiques et les suivis de températures sont retenus pour surveiller les conditions de fonctionnement et assurer la maîtrise de la durée de vie de l'équipement.

Suivi de l'acidité dans le bouilleur

Les prises d'échantillons pour le suivi de l'acidité dans le bouilleur 4140-31 de R2 sont réalisées dans la cuve d'acide tritié concentré [REDACTED] de R2. Cette acidité, entre 1997 et 2014, est présentée sur le graphique de la figure 13.

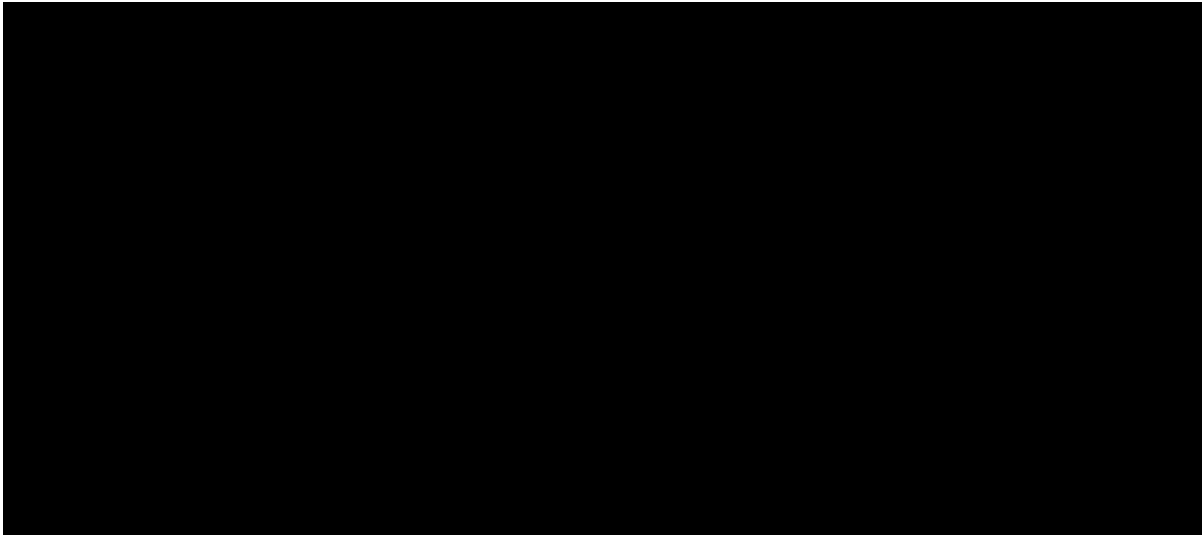


Figure 14 : Suivi de l'acidité dans le bouilleur 4140-31 de R2

L'acidité moyenne observée dans le bouilleur 4140-31 de R2 est de [REDACTED] mol/L, avec un maximum à [REDACTED] mol/L.

Les valeurs relevées sont encadrées par la valeur limite de [REDACTED] mol/l (cf §9.3.2.1.1)

| | | |
|-------------|---|----------------|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

Suivi des températures de fonctionnement de l'évaporateur

Le tableau 4 présente les valeurs moyennes et maximales de température de la solution de l'évaporateur et du fluide caloporteur observées pendant les périodes de fonctionnement de l'évaporateur entre 2001 et 2015.

| Température procédé (4140 TE 30) | Température caloporteur (4150 TER 80) |
|-------------------------------------|---|
| Tmoy = ■°C | Tmoy = ■°C |
| Tmax = ■°C | Tmax = ■°C |

**Tableau 4 : Suivi des températures du bouilleur 4140-31 de R2
Période 2001-2015**

La température maximale du fluide caloporteur est inférieure à la valeur maximale admissible de ■°C. La température maximale du fluide procédé est inférieure à la valeur maximale de service de ■°C (cf §5.2)

9.2.5 Niveau du facteur état de l'équipement

Au vu des éléments cités ci-dessus, et bien que le phénomène de perte d'épaisseur ne soit pas redouté pour l'équipement (§9.3.2.4) le niveau du facteur état de l'équipement doit être estimé comme étant un facteur de **Niveau 3**, la faisabilité de la réalisation de mesures d'épaisseurs sur les tubes de faisceau (ZIS) n'étant pas encore acquise.

9.3 DETERMINATION DU FACTEUR DEGRADATION

« Ce facteur évalue la sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles, à l'égard des conditions d'exploitation et aux dispositions de suivi en service de l'équipement. Ce facteur doit être évalué mode de dégradation par mode de dégradation.

L'analyse peut être réalisée de manière itérative, en partant des inspections réellement effectuées sur l'équipement puis, si besoin en intégrant les mesures complémentaires.

La détermination de ce facteur se base sur :

- La probabilité d'apparition d'une dégradation dans les conditions d'exploitation
 - Faible : l'équipement n'est pas vulnérable au mode de dégradation étudié dans ses conditions de fonctionnement. La démonstration de l'absence de vulnérabilité est établie par sa conception,
 - Moyenne : ce niveau est défini par l'exclusion des niveaux faibles et forts,
 - Forte : l'équipement est sensible à un mode de dégradation non pris en compte à la conception.
- La maîtrise des conditions d'exploitations
 - Maitrisées : les conditions d'exploitation sont encadrées par des paramètres de fonctionnement précis et mesurables. Ceux-ci sont maitrisés et surveillés,
 - Non maitrisées : une des conditions précédentes n'est pas acquise ou la surveillance de ceux-ci n'est pas exhaustive.
- L'adéquation des inspections aux dégradations redoutées
 - Adéquate : les inspections réalisées sont performantes pour détecter les dégradations considérées, leur fréquence est adaptée à la cinétique du mode de dégradation considéré et elles sont réalisées sur la totalité de la partie de l'équipement soumise au mode de dégradation. Si la totalité de cette zone n'est pas contrôlée, pour être adéquates les inspections ne pourront exclure qu'une partie de la zone sous réserve que cette partie exclue ne soit pas une zone plus sensible au mode de dégradation. Leur aptitude à détecter la dégradation doit être établie,
 - Pas totalement adéquates : les inspections ne remplissent pas un des critères de performance, fréquence ou étendue précédemment explicités,
 - Absence : pas d'inspection ».

Le niveau du facteur de dégradation doit être défini comme suit :

| Probabilité d'apparition dégradation | Inspections adéquates | | | Inspections pas totalement adéquates | | | Absence d'inspection | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-------|------|--------------------------------------|-------|------|----------------------|-------|------|
| | Faible | Moyen | Fort | Faible | Moyen | Fort | Faible | Moyen | Fort |
| Exploitation | | | | | | | | | |
| Maitrisée | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Non-maitrisée | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

9.3.1 Sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles

L'identification des modes de dégradation est synthétisée dans le tableau 5. Ce tableau précise la liste des modes de dégradation analysés et les éléments de justification permettant de faire apparaître les phénomènes de dégradation potentiels retenus pour l'analyse de la durabilité du bouilleur 4140-31 de R2.

| Mode de dégradation | Justification | Mode de dégradation potentiel (Oui / Non) |
|---|---|---|
| Vieillessement induit par contrainte mécanique à basse température | | |
| Fatigue oligocyclique ou à grand nombre de cycles | Les mécanismes de fatigue (cycles T, P) sont pris en compte à la conception suivant un code de calcul dédié aux appareils à pression. | Oui |
| Fatigue vibratoire | La fabrication des supportages suit des règles de conception dédiées issues du référentiel normatif et des standards AREVA. | Non |
| Dilatation thermique différentielle | Une seule nuance de matériau est utilisée pour la fabrication de cet équipement. Les soudures réalisées sur cet équipement sont des soudures homogènes. | Non |
| Concentrations de contraintes | Cet équipement a été conçu, calculé et fabriqué suivant un code de calcul spécifique aux appareils à pression, selon la réglementation en vigueur. | Non |
| Pics locaux de pression | La conception et le fonctionnement suivent des règles dédiées (codes, normes, standards AREVA) permettant d'éviter ce type de phénomène. | Non |
| Fissuration assistée par l'environnement : - Corrosion sous contrainte - Fragilisation par hydrogène - Fatigue-corrosion | L'adéquation choix matériaux - environnement a été réalisée de manière à exclure ces modes de vieillissement. Ni les études expérimentales, ni les retours d'expériences n'ont mis en évidence de tels mécanismes pour un équipement en [REDACTED]. | Non |
| Vieillessement induit par contrainte mécanique à haute température | | |
| Vieillessement thermique | Les températures vues par l'équipement et les éventuels cycles en température et pression sont trop faibles pour engendrer un vieillissement thermique. | Non |
| Fluage | Le mécanisme de fluage est pris en compte à la conception de façon concomitante à la fatigue suivant un code de calcul dédié aux appareils à pression. | Oui |
| Vieillessement induit par usure mécanique | | |
| Usure due au frottement entre deux solides : - Par abrasion - Par adhésion - Par fatigue superficielle | L'équipement ne contient pas de pièces mobiles en mouvement relatif les unes par rapport aux autres. Il n'y a pas de solide significatif dans le caloporteur ou dans la solution procédé. | Non |

| | | |
|---|--|-----|
| Usure due au fluide en mouvement : - Erosion - Cavitation | Le caloporteur est de l'eau surchauffée. Le dimensionnement du débit suit les règles de conception issues des standards AREVA. Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes. | Non |
| Mécanismes couplés : - Tribocorrosion - Erosion-corrosion - Cavitation-corrosion | Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes. | Non |
| Vieillessement induit par corrosion à basse température | | |
| Corrosion atmosphérique | La cellule contenant l'équipement est ventilée par un air filtré, la présence d'aérosols marins est négligeable. Le risque de condensation en cellule est possible suivant la température de la cellule et de l'équipement. Le retour d'expérience disponible issu de l'ensemble des observations vidéo en cellules zone 4 démontre l'efficacité de la filtration. | Non |
| Corrosion humide : généralisée | Le matériau en contact du fluide procédé (milieu acide nitrique) est susceptible de subir un phénomène de corrosion de type dissolution uniforme de la surface du métal. | Oui |
| Corrosion humide : bimétallique | Un seul matériau est utilisé pour la fabrication de l'équipement. Il n'y a pas de couplage galvanique. | Non |
| Corrosion humide : aération différentielle | Il n'y a pas de surface dans l'équipement en contact avec deux milieux significativement différents pour induire un phénomène d'aération différentielle. | Non |
| Corrosion humide : piqûration | - Le fluide procédé n'a pas de caractère piqûrant vis-à-vis du [REDACTED]. - Le caloporteur est constitué d'eau surchauffée, il n'y a pas de risque de piqûration du [REDACTED] au niveau de la boucle caloporteur. | Non |
| Corrosion humide : caverneuse | - Le fluide procédé n'est pas de nature à engendrer ne corrosion caverneuse vis-à-vis du [REDACTED]. - Le caloporteur est constitué d'eau surchauffée, il n'y a pas de risque de corrosion caverneuse du [REDACTED] au niveau de la boucle caloporteur. | Non |
| Corrosion humide : intergranulaire | - Le [REDACTED] travaille dans son domaine passif. - Le caloporteur est constitué d'eau surchauffée, il n'y a pas de risque de corrosion intergranulaire du [REDACTED] au niveau de la boucle caloporteur. | Non |
| Corrosion humide : par courant vagabond | Les standards de conception permettent d'éviter ce type de phénomène. | Non |
| Vieillessement induit par corrosion à haute température | | |
| Corrosion à haute température : - Sèche : oxydation - En présence de verre fondu | Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes. | Non |

| Vieillessement sous irradiation | | |
|---|--|-----|
| Vieillessement sous flux neutronique : - <i>Altération microstructurale</i> - <i>Déformation</i> - <i>Irradiation-Assisted Stress-Corrosion Cracking</i> | Les études menées en réacteur sur les aciers inoxydables et les alliages en [Redacted] montrent que ce flux neutronique devient significatif à partir d'environ 10^{21} n/cm ² . Aucun équipement de La Hague ne rencontre ce niveau de flux neutronique. | Non |

Tableau 5 : Liste des modes de dégradation

Les modes de dégradation retenus pour le bouilleur 4140-31 de R2 sont la fatigue-fluage ainsi que la corrosion par dissolution uniforme et généralisée. Les phénomènes de dégradation potentiels sont précisés dans le tableau 6.

| Mode de dégradation | Phénomène de dégradation potentiel |
|---|---|
| Corrosion par dissolution uniforme et généralisée | Perte d'épaisseur |
| Fatigue-fluage | Fissuration au-delà d'un certain nombre de cycles |

Tableau 6 : Identification des modes de dégradation du bouilleur 4140-31 de R2

9.3.2 Corrosion uniforme et généralisée

9.3.2.1 Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation

9.3.2.1.1 Comportement du matériau face à la corrosion : données expérimentales

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

Les zones potentiellement soumises à la corrosion sont identifiées dans le tableau , de la zone jugée la plus sensible à la moins sensible (sur la base des températures de fonctionnement et de l'environnement chimique).

| Zone | Matière | Environnement | Fonctionnement |
|--|--------------------|--|----------------|
| Tubes | Tubes sans soudure | Int : acide nitrique tritié, solution liquide et gaz Ext : eau surchauffée | [Redacted] |
| Partie supérieure et inférieure du bouilleur - fond et virole | Tôles – soudures | Int : acide nitrique tritié, gaz et condensats Ext : atmosphère de la cellule | [Redacted] |

Tableau 7 : Sensibilité des zones à la corrosion - Bouilleur 4140-31 de R2

9.3.2.1.2 Comportement du matériau face à la corrosion : REX sur équipements similaires

Au regard du fonctionnement de l'unité 4140 de l'atelier R2, le risque corrosion peut être évalué par analogie avec plusieurs équipements fonctionnant dans des conditions similaires.

Les éléments de démonstration sont les suivants :

- Comparaison des caractéristiques entre le témoin 4140-31 de l'atelier T2 et le bouilleur 4140-31 de l'atelier R2.
- Retour d'expérience sur les mesures d'épaisseurs.
- Comparaison des caractéristiques entre le témoin et le bouilleur

| Comparaison | Matériau | Acidité moyenne | Température moyenne Procédé | Température moyenne caloporteur |
|------------------|------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 4140-30/31 de T2 | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| 4140-30/31 de R2 | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |

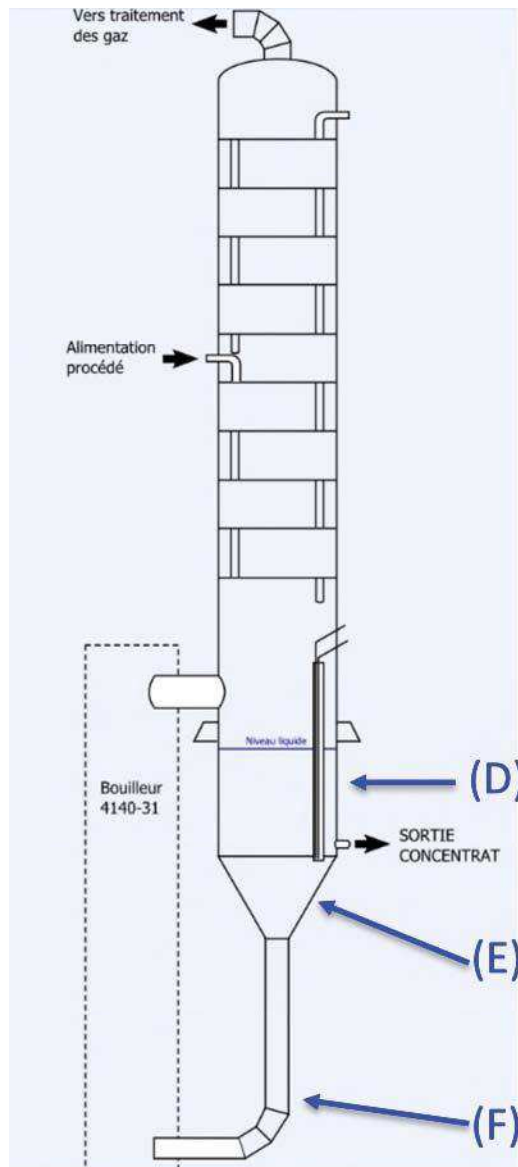
- Retour d'expérience sur les mesures d'épaisseurs

9.3.2.1.2.1 Contrôles sur le séparateur 4140-30 de R2

L'évaporateur 4140-30/31 de l'atelier R2 a fait l'objet d'un suivi de perte d'épaisseur dans plusieurs zones des équipements. Notamment sur la partie séparateur qui présentent des parois également en contact avec la solution procédé :

| ID zone | Campagne | Nb pts | Epaisseur nominale mm | Tolérance d'appro. min. mm | Tolérance d'appro. max. mm | Epaisseur moyenne mesurée* mm | Ecart-type mm | Epaisseur min. mesurée mm |
|---------|--------------|--------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------|
| D | Août 2014 | 7 | | | | | | |
| | Avril 2016 | 14 | | | | | | |
| E | Août 2014 | 17 | | | | | | |
| | Avril 2016 | 26 | | | | | | |
| F | Février 2006 | 16 | | | | | | |
| | Août 2014 | 16 | | | | | | |
| | Avril 2016 | 22 | | | | | | |

Tableau 8 : mesures d'épaisseur sur le séparateur 4140-30 de R2



Il est constaté que toutes les épaisseurs mesurées sont comprises dans les tolérances d'approvisionnement après 22 ans de fonctionnement et ne montre pas d'évolution significative.

Sur l'ensemble des parois en contact avec la solution procédée, la vitesse de corrosion est négligeable.

9.3.2.1.2.2 Contrôles sur le séparateur 4140-30 de T2

6 campagnes de mesures ont été réalisées sur le bas de la virole de la colonne 4140-30 de T2 (cf. figure ci-dessous). Les résultats des mesures d'épaisseur sont présentés dans le tableau ci-dessous.



Localisation de mesures d'épaisseur sur le bas de la virole de la colonne 4140-30 de T2

| Campagne | 1990 | 1998 | 1999 | 2002 | 2005 | 2007 | 2015 |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|------------|
| Référence | DCA 1302 12 014 0501 | 1998-3125 | 2000-2636 | 2005-1840 | Rapport CEP 2007 | Rapport CEP 2007 | 2015-72491 |
| Nombre de mesures | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 20 |
| Epaisseur moyenne (mm) | [REDACTED] | | | | | | |
| Ecart-type (mm) | | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,08 |

Tableau 9 : mesures d'épaisseur sur le bas de la virole de la colonne 4140-30 de T2

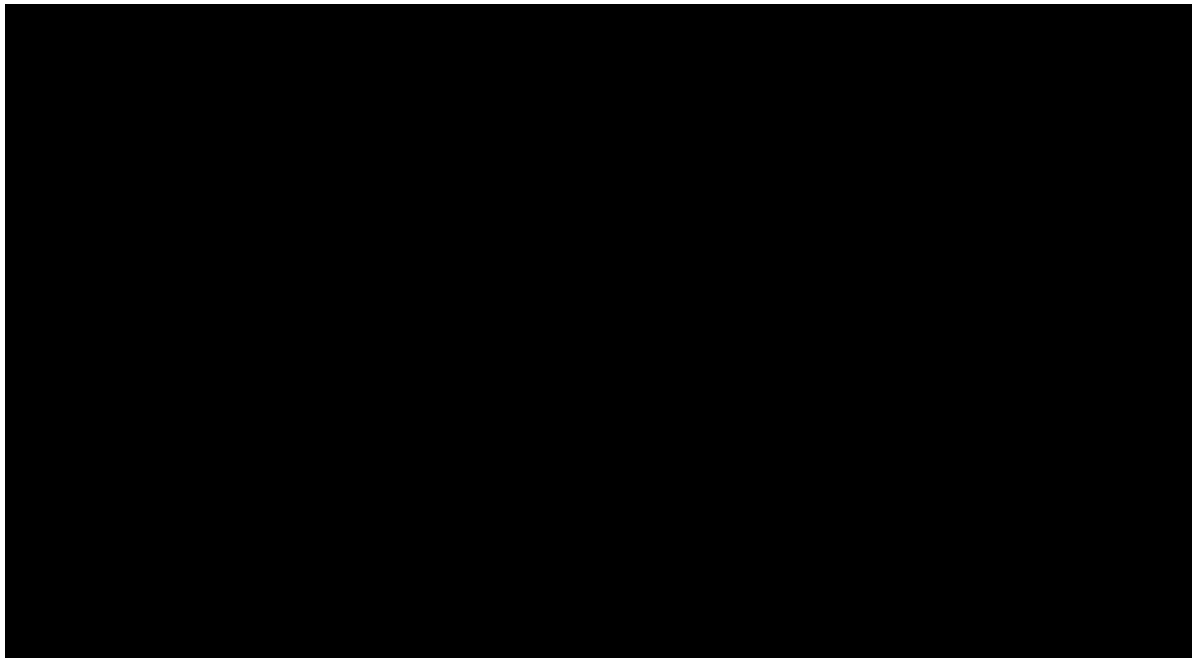


Figure 15 : Vitesse de corrosion d [REDACTED] m/an en prenant en compte l'ensemble des campagnes de mesures d'épaisseur.

Une vitesse de corrosion moyenne d [REDACTED] µm/an depuis la mise en service en 1990 est constatée.

6 campagnes de mesures ont été réalisées sur le cône en dessous du bas de la virole de la colonne 4140-30 de T2 (cf. figure ci-dessous). Les résultats des mesures d'épaisseur sont présentés dans le tableau ci-dessous.



Localisation de mesures d'épaisseur sur le cône en dessous du bas de la virole de la colonne 4140-30 de T2

| Campagne | 1990 | 1998 | 1999 | 2002 | 2005 | 2007 | 2015 |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|------------|
| Référence | DCA 1302 12 014 0501 | 1998-3125 | 2000-2636 | 2005-1840 | Rapport CEP 2007 | Rapport CEP 2007 | 2015-72491 |
| Nombre de mesures | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 15 |
| Epaisseur moyenne (mm) | [REDACTED] | | | | | | |
| Ecart-type (mm) | | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,08 |

Tableau 10 : mesures d'épaisseur sur le cône en dessous du bas de la virole de la colonne 4140-30 de T2

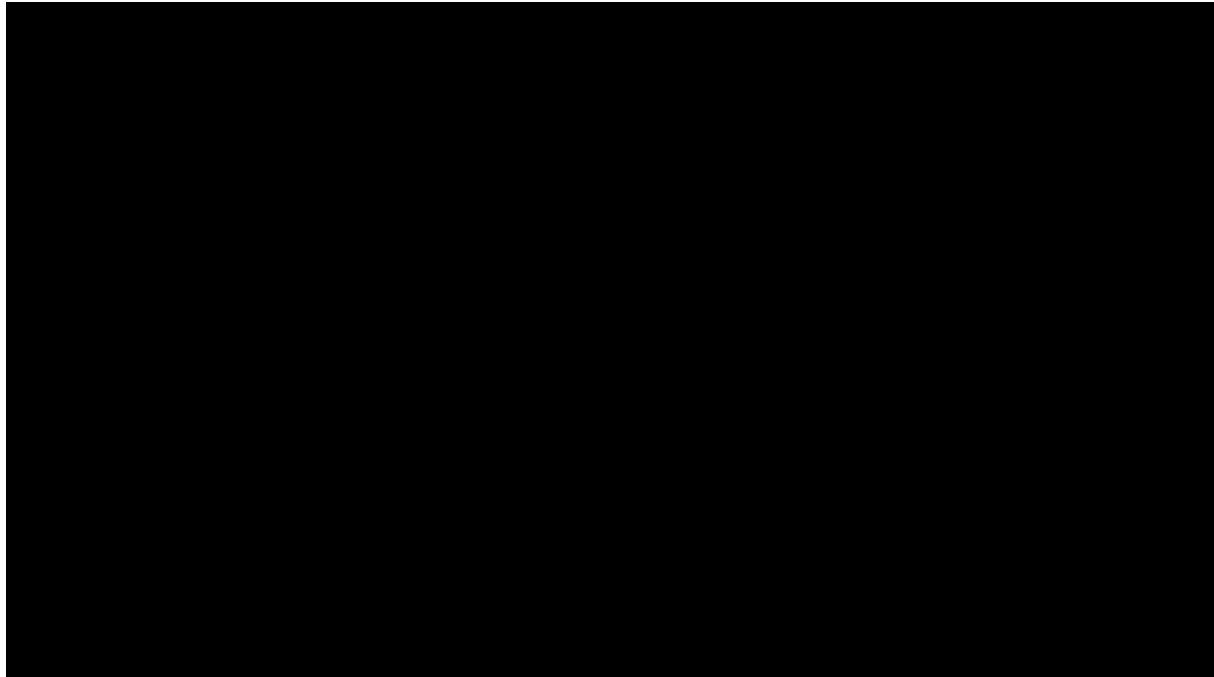


Figure 16 : Vitesse de corrosion d [Redacted] µm/an en prenant en compte l'ensemble des campagnes de mesures d'épaisseur.

Une vitesse de corrosion moyenne de [Redacted] µm/an depuis la mise en service en 1990 est constatée.

Jambe de liaiso [Redacted] :

| Campagne | 1990 | 1998 | 1999 | 2002 | 2005 | 2007 |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| Référence | DCA 1302 12 014 0501 | 1998-3125 | 2000-2636 | 2005-1840 | Rapport CEP 2007 | Rapport CEP 2007 |
| Nombre de mesures | | 36 | 36 | 36 | 40 | 40 |
| Epaisseur moyenne (mm) | [Redacted] | | | | | |
| Ecart-type (mm) | | 0,06 | 0,04 | 0,12 | 0,46 | 0,43 |

Tableau 11 : mesures d'épaisseur sur la jambe de liaison du séparateur 4140-30 de T2

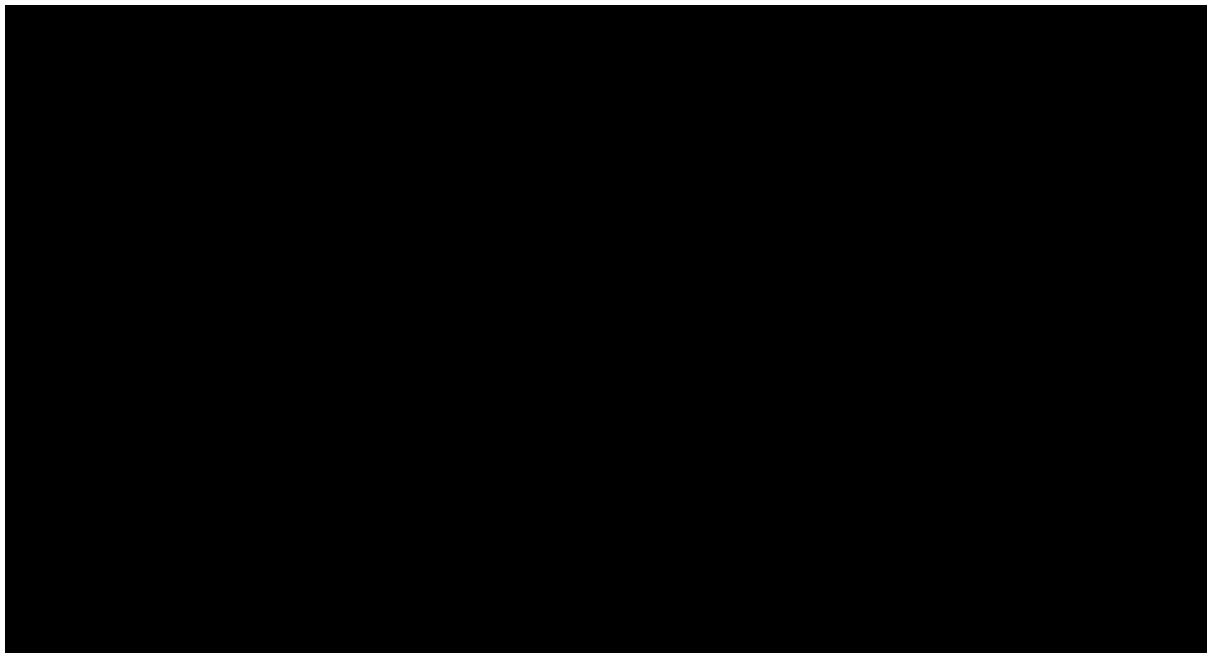


Figure 17 : Vitesse de corrosion de [Redacted] m/an en prenant en compte les campagnes de mesures d'épaisseur de 1998- à 2002.

Une vitesse de corrosion moyenne de [Redacted] µm/an depuis la mise en service en 1990 jusqu'au dernière mesures utilisables de 2002 est constatée.

[Redacted]

9.3.2.1.2.3 Contrôles sur le bouilleur 4140-31 de T2

[Redacted]

Les résultats des mesures d'épaisseur de 1998 à 2007 sur les parois en contact avec le fluide procédé : fonds et viroles inférieurs et supérieurs de la boîte à eau : sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Fond et Virole supérieure :

| Campagne | 1990 | 1998 | 1999 | 2002 | 2005 | 2007 |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| Référence | DCA 1302 12 014 0501 | 1998-3125 | 2000-2636 | 2005-1840 | Rapport CEP 2007 | Rapport CEP 2007 |
| Nombre de mesures | | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Epaisseur moyenne (mm) | [Redacted] | | | | | |
| Ecart-type (mm) | | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |

Tableau 12 : mesures d'épaisseur sur le bouilleur fond et virole supérieure 4140-31 de T2

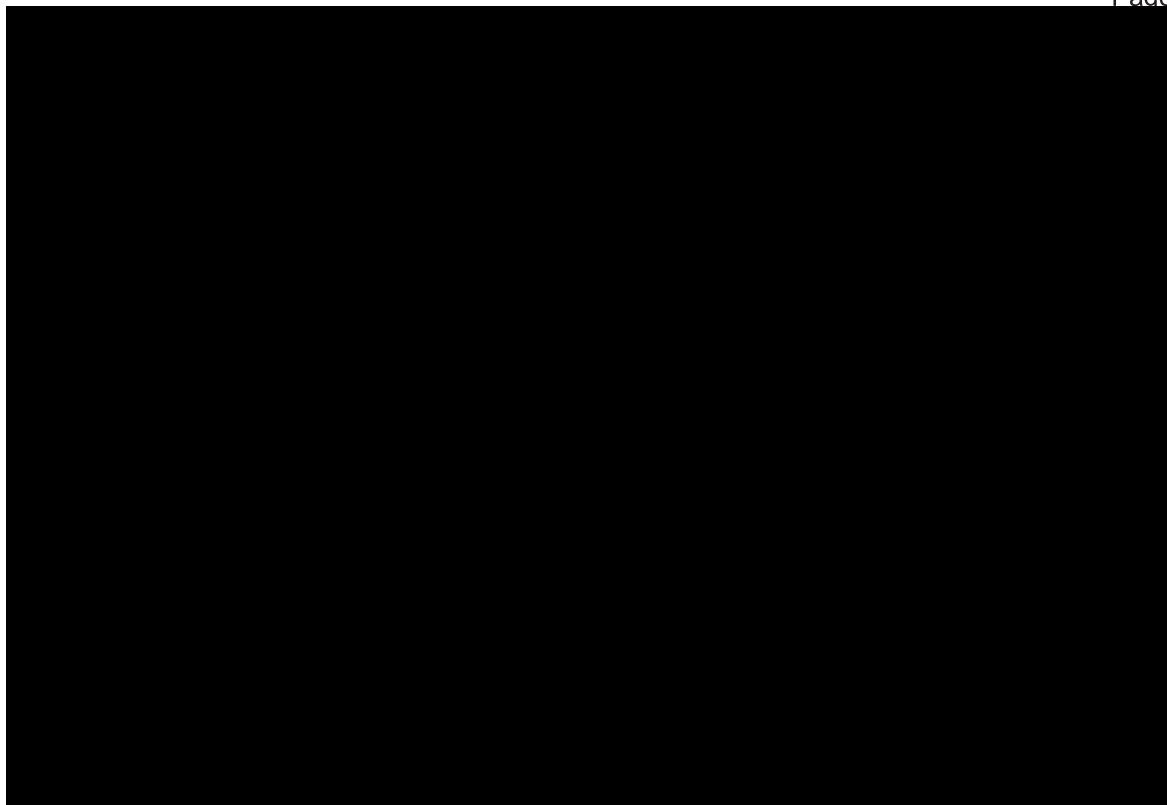


Figure 18 : Vitesse de corrosion de [redacted] µm/an en prenant en compte l'ensemble des campagnes de mesures d'épaisseur.

Une vitesse de corrosion moyenne de [redacted] µm/an depuis la mise en service en 1990 jusqu'en 2007 est constatée.

Fond et Virole inférieure :

| Campagne | 1990 | 1998 | 1999 | 2002 | 2005 | 2007 |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| Référence | DCA 1302 12 014 0501 | 1998-3125 | 2000-2636 | 2005-1840 | Rapport CEP 2007 | Rapport CEP 2007 |
| Nombre de mesures | | 11 | 11 | 15 | 15 | 15 |
| Epaisseur moyenne (mm) | [Redacted] | | | | | |
| Ecart-type (mm) | | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |

Tableau 13 : mesures d'épaisseur sur le bouilleur fond et virole inférieure 4140-31 de T2

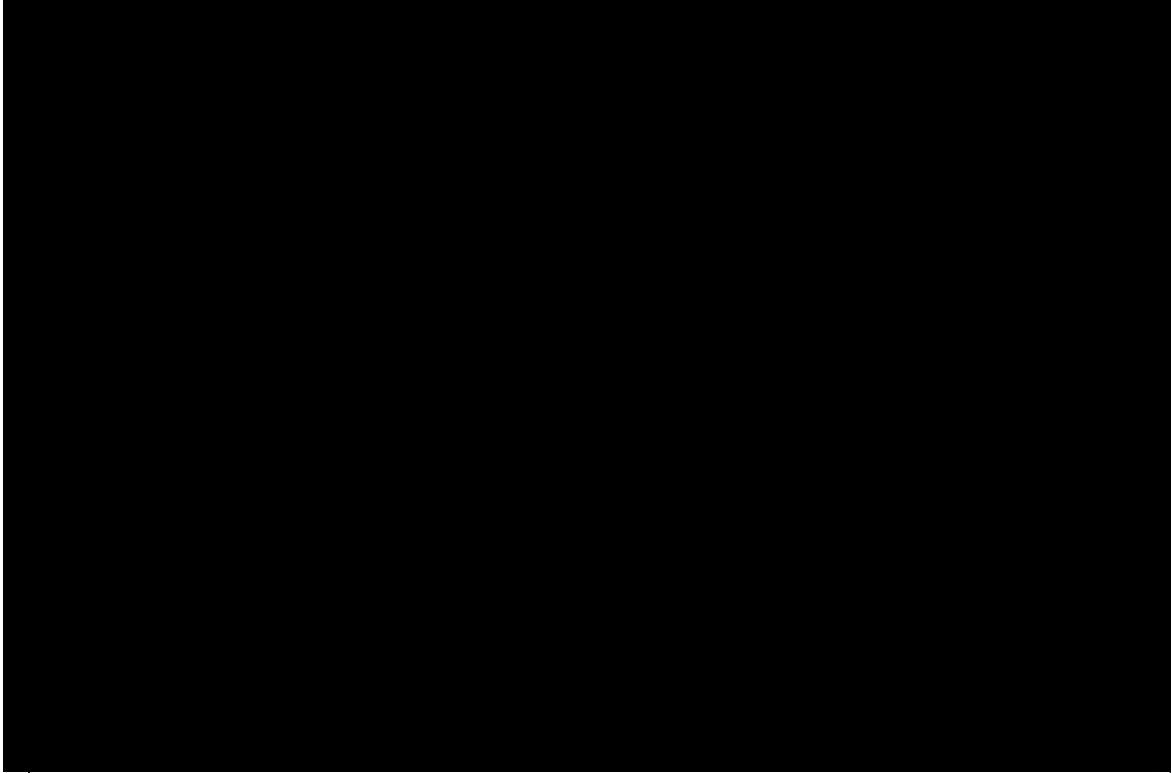


Figure 19 : Vitesse de corrosion d [redacted] $\mu\text{m}/\text{an}$ en prenant en compte l'ensemble des campagnes de mesures d'épaisseur.

Une vitesse de corrosion moyenne de [redacted] $\mu\text{m}/\text{an}$ depuis la mise en service en 1990 jusqu'en 2007 est constatée.

Tubes du faisceau :

[Redacted]

Les résultats des mesures d'épaisseur de 2005 et 2007 sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Epaisseur initiale des tube [redacted] mm [-0 ; +10%]

Une vitesse de corrosion maximale de [Redacted] um/an pour le niveau 4, depuis la mise en service en 1990 jusqu'en 2007 a été constaté [28].

Conclusion :

[Redacted]

9.3.2.1.3 Probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion

Au vu des éléments cités ci - dessus et conformément aux critères du « Guide des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 [8] aux Equipements Sous Pression Nucléaire » [2] , la probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion est considérée comme « **Faible** ».

9.3.2.2 Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation

Un suivi en exploitation au niveau du bouilleur 4140-31 de R2 des conditions de température, et de l'acidité, comme précisé au § 9.2.4.2 permet de contrôler le fonctionnement du bouilleur dans les conditions prévues à la conception. Les paramètres suivis sont intégrés au POES de l'équipement [30].

Au vu des éléments cités ci-dessus, les conditions d'exploitation associées à ce mode de dégradation sont considérées comme « **Maîtrisées** ».

9.3.2.3 Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations

Des dispositions particulières visant à suivre plus précisément la corrosion de l'équipement sont mises en place en plus de celles relevant du suivi conventionnel. Les dispositions particulières mises en œuvre sont présentées dans le tableau 15 et intégrées au POES de l'équipement [30].

| Exigences opérationnelles | Périodicité |
|---|-------------|
| Mesures d'épaisseurs sur zones accessibles (Zones cf. § 9.2.3.2.1) | 36 mois |
| Vérification visuelle partielle de la surface externe du bouilleur (cf. [14]) | 36 mois |

Tableau 15 : Dispositions particulières mises en œuvre pour encadrer la corrosion

Le visuel partiel de la surface externe du bouilleur (§9.2.2) et les mesures d'épaisseurs, explicitées au §9.2.3, sur les zones accessibles permettent de confirmer l'absence de dégradation liée à la corrosion.

La périodicité des dispositions particulières, définie dans le POES, se fait en accord avec la vitesse des phénomènes de dégradation identifiés de l'équipement.

Les inspections prévues réalisées sur les zones accessibles, ne sont pas réalisées sur l'ensemble des zones potentiellement soumises au risque corrosion (Tableau 7)

Au vu des éléments cités ci – dessus, l'adéquation des inspections à ce type de dégradation est évaluée comme étant « **Pas totalement adéquate** ».

9.3.2.4 Niveau du facteur de dégradation

Les niveaux des facteurs à considérer pour l'analyse du niveau du facteur de dégradation en fonction des modes de dégradation considérés sont :

- Corrosion
 - Probabilité de l'apparition de la dégradation (voir § 9.3.2.1.3) : **Faible**
 - Niveau de maîtrise des conditions d'exploitation (voir § 9.3.2.2) : **Maitrisées**
 - Adéquation des inspections aux dégradations (voir § 9.3.2.3) : **Pas totalement adéquate**

| Probabilité d'apparition de dégradation | Inspections adéquates | | | Inspections pas totalement adéquates | | | Absence d'inspection | | |
|---|-----------------------|-------|------|--------------------------------------|-------|------|----------------------|-------|------|
| | Faible | Moyen | Fort | Faible | Moyen | Fort | Faible | Moyen | Fort |
| Exploitation | | | | | | | | | |
| Maitrisée | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Non-maitrisée | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Figure 20 – Matrice de niveau du facteur corrosion

| | | |
|---------------------|---|------------|
| AP | Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision NT 100807 12 0119 C | REF |
| AREVA NC | | REF |

Après analyse de la matrice de détermination du facteur dégradation, le niveau de ce facteur est :

- Corrosion : **Niveau 1.**

9.3.3 Fatigue-fluage

9.3.3.1 Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation

L'équipement de par ses conditions d'exploitation est soumis à des cycles de pression / température et donc à un phénomène de fatigue.

La note de calcul de conception [19] et la mise à jour réalisée dans la note [21] justifie d'un bon dimensionnement de l'équipement à ce mode de dégradation.

Au vu des éléments cités ci-dessus, la probabilité d'apparition de la dégradation est considérée comme « **Faible** ».

9.3.3.2 Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation

Un suivi en exploitation au niveau du bouilleur 4140-31 de R2 du paramètre température de l'équipement permet d'encadrer ce mode de dégradation.

Le paramètre suivi est présenté dans le Tableau 16 et intégré au POES de l'équipement [30] :

| Identification équipements ou seuil | Type de suivi |
|---|---------------|
| Enregistrement de la température dans la phase liquide du bouilleur 4140-31 | Relevé valeur |

Tableau 16 : Paramètre suivi pour encadrer la fatigue

Un historique des cycles thermique et pression a été constitué [26].

L'exploitation de cet historique permet de conforter les marges restantes pour l'exploitation du bouilleur 4140-31 de R2 (voir § 9.2.4.1).

L'analyse des cycles faite au travers de l'étude sur la Maitrise de la Durée de Vie et le suivi en exploitation permet donc de considérer que les conditions d'exploitation liées à la fatigue de l'équipement sont « **Maitrisées** ».

9.3.3.3 Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations

Concernant la fatigue, un suivi des cycles thermiques et pression effectué au travers de la surveillance de la température avec une analyse annuelle justifie que le domaine d'apparition de la dégradation est maîtrisé.

9.3.3.3.1 Adéquation des inspections liées à la fatigue

Des dispositions particulières visant à suivre plus précisément la fatigue de l'équipement sont mises en place.

Les dispositions particulières mises en œuvre sont présentées dans le Tableau 17 et intégrées au POES de l'équipement [30] :

| Exigences opérationnelles | Périodicité |
|--|-------------|
| Vérification visuelle de la surface externe partielle du bouilleur (cf. [14]) | 36 mois |
| Bilan des cycles réels en pression et en température | 12 mois |

Tableau 17 : Dispositions particulières mises en œuvre pour encadrer la fatigue

Les conditions de température sont déjà suivies et analysées (voir § 9.2.4.2). Le suivi et le bilan annuel des cycles thermique et pression va permettre de connaître les marges restantes pour l'exploitation de l'équipement.

Le visuel partiel de la surface externe du bouilleur permet de détecter des fissurations.

La périodicité des dispositions particulières, définie dans le POES, se fait en accord avec la cinétique des modes de dégradation identifiés de l'équipement.

Au vu des éléments cités ci-dessus et conformément aux critères du « Guide des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 [8] aux Equipements Sous Pression Nucléaire » [2], l'adéquation des inspections à ce type de dégradation est évaluée comme étant « **Pas totalement adéquate** ».

9.3.3.4 Niveau du facteur de dégradation

Les niveaux des facteurs à considérer pour l'analyse du niveau du facteur de dégradation en fonction des modes de dégradation considérés sont :

- Fatigue
 - Probabilité de l'apparition de la dégradation (voir § 9.3.3.1) : **Faible**
 - Niveau de maîtrise des conditions d'exploitation (voir § 9.3.3.2) : **Maitrisées**
 - Adéquation des inspections aux dégradations (voir § 9.3.3.3) : **Pas totalement adéquate**

| Probabilité d'apparition de la dégradation | Inspections adéquates | | | Inspections pas totalement adéquates | | | Absence d'inspection | | |
|--|-----------------------|-------|------|--------------------------------------|-------|------|----------------------|-------|------|
| | Faible | Moyen | Fort | Faible | Moyen | Fort | Faible | Moyen | Fort |
| Exploitation | | | | | | | | | |
| Maitrisée | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Non-maitrisée | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Figure 21 – Matrice de niveau du facteur fatigue

Après analyse de la matrice de détermination du facteur dégradation, le niveau de ce facteur est :

- Fatigue : **Niveau 1.**

9.3.4 Facteur Global de dégradation de sécurité de l'équipement

Après analyse de tous les facteurs de dégradation de l'équipement, le niveau global de dégradation attribuable à l'équipement est le plus important des niveaux des facteurs identifiés.

Pour le bouilleur 4140-31 de R2, on a :

- Corrosion (voir § 9.3.2.4) : **Niveau 1.**
- Fatigue-fluage (voir § 9.3.3.4) : **Niveau 1.**

Après analyse de tous les facteurs de dégradation de l'équipement, le niveau global de dégradation attribuable à l'équipement est **Niveau 1.**

9.4 DETERMINATION DU NIVEAU DE SECURITE DE L'ESPN

Pour déterminer le niveau de sécurité, on retient le niveau le plus pénalisant obtenu parmi les facteurs ci-dessous.

Les niveaux des facteurs étudiés sont :

- Facteur Fabrication (voir § 9.1.4) : **Niveau 1.**
- Facteur Etat (voir § 9.2.5) : **Niveau 3.**
- Facteur Dégradation (voir § 9.3.4) : **Niveau 1.**

Le niveau de sécurité retenu pour l'ESPN suite à l'analyse des différents facteurs est le **Niveau 3**
« **Risque de défaillance fort** ».

10 JUSTIFICATION D'UN NIVEAU EQUIVALENT DE SECURITE

L'analyse de l'équivalence du niveau de sécurité par rapport à celui qui serait établi par application des mesures réglementaires ESPN peut être réalisée sur la base d'une méthode générique telle que la méthode de cotation en annexe du courrier COR ARV 3SE INS 13-003 du groupe inter-exploitant [31].

Cependant, l'applicabilité de cette méthodologie dépend du niveau de sécurité retenu (voir § 9.4) pour l'ESPN. Dans le cas du bouilleur 4140-31 de l'atelier R2, le niveau de sécurité retenu présente un risque de défaillance fort du fait de l'évaluation du facteur état pour lequel l'équipement présente des dégradations potentielles pour lesquelles l'exploitant ne peut garantir que leur évolution en service, estimée de façon conservatrice, confèrera à l'équipement une résistance au moins égale à la résistance minimale définie à la conception, dans le respect des marges de sécurité, à la fin de sa durée de fonctionnement prévue.

Cette évaluation s'explique par l'absence de contrôle direct récent (mesure d'épaisseur) sur la zone la plus sensible de l'équipement.

Le tableau suivant permet de présenter une étude de vulnérabilité du bouilleur 4140-31 de l'atelier R2

| Endommagement | Phénomène de dégradation | Mesures prises en conception | Marges vis-à-vis de l'endommagement | Suivi et inspection en service renforcé |
|---------------|--------------------------|--|--|---|
| Corrosion | Perte d'épaisseur | <ul style="list-style-type: none"> - Choix d'une nuance de matériau adaptée - Note de calcul statique - Prise en compte d'une épaisseur consommable | <ul style="list-style-type: none"> - Essais corrosion dans un milieu représentatif (C) donne une vitesse de corrosion inférieure à - DMF estimé | <ul style="list-style-type: none"> - Mesures d'épaisseurs sur l'équipement - test en pression annuel - Suivi des conditions de fonctionnement (température) |
| Fatigue | Fissuration | <ul style="list-style-type: none"> - Note de calcul en fatigue - contrôle des soudures | <ul style="list-style-type: none"> - Détermination d'une marge à la fatigue vis-à-vis du nombre de cycles admissibles en température et en pression pour l'équipement - DMF estimé | <ul style="list-style-type: none"> - Bilan du nombre de cycles réels en température et en pression subis par l'équipement - Visuel partiel - Test en pression annuel |

11 EVALUATION DES CONSEQUENCES DE LA DEFAILLANCE DE L'ESPN

Les conséquences de la défaillance du bouilleur 4140-31 de R2 sur les intérêts protégés mentionnés à l'article L.593-1 du Code de l'Environnement sont évaluées dans l'analyse de sûreté référencée 1.1.

Pour mémoire, les intérêts protégés sont :

- la sécurité, la santé et la salubrité publiques,
- la protection de la nature et de l'environnement.

11.1 RETOUR D'EXPERIENCE (REX) CONCERNANT LA DETECTION DES SCENARIOS ESPN

Plusieurs évènements intéressant la sûreté sur des évaporateurs de type thermosiphon se sont produits.

Le REX de ces événements permet de mettre en évidence d'une part que la surveillance et les contrôles permettent de détecter ces situations et d'autres part l'absence de conséquences pour le personnel, le public et l'environnement.

Les équipements et les installations sont toujours restés dans un état sûr.

Le REX concerne :

| N° | Atelier | Equipement | Année | Document | Titre |
|----|------------|------------|-------|------------|------------|
| ■ | ■ | [Redacted] | | [Redacted] | [Redacted] |
| ■ | [Redacted] | [Redacted] | | [Redacted] | [Redacted] |
| ■ | ■ | [Redacted] | | [Redacted] | [Redacted] |
| ■ | [Redacted] | [Redacted] | | [Redacted] | [Redacted] |

Tableau 18 - Liste des évènements exploités pour le REX

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

AP

| Type Doc. | Activité | Cat.MT | N° Ordre | Révision |
|-----------|----------|--------|----------|----------|
| NT | 100807 | 12 | 0119 | C |

REF

AREVA
NC

[Redacted]

~~REF~~

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

AP

| Type Doc. | Activité | Cat.MT | N° Ordre | Révision |
|-----------|----------|--------|----------|----------|
| NT | 100807 | 12 | 0119 | C |

REF

AREVA
NC

[Redacted]

~~REF~~

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



AP

| Type Doc. | Activité | Cat.MT | N° Ordre | Révision |
|-----------|----------|--------|----------|----------|
| NT | 100807 | 12 | 0119 | C |

REF

AREVA
NC

[Redacted]

REF

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

11.2 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE L'ESPN

Classement de l'ESPN

Le bouilleur de rectification des distillats 4140-31 de R2 est un ESPN de niveau N3 et de catégorie IV. Le classement retenu est justifié dans l'analyse de sûreté [5] de justification du classement en niveau de l'ESPN relevant des annexes 5 et 6 de l'arrêté en référence [2].

Les autres caractéristiques techniques de l'ESPN sont décrites aux paragraphes § 1.1 et 6 de la présente note.

Environnement de l'ESPN

La prévention contre les risques de dispersion de matières radioactives est assurée par l'organisation des ateliers en systèmes de confinement selon les principes développés au paragraphe 3 du chapitre 4 du RPS UP2 800.

Un premier système de confinement est conçu de manière à éviter une dissémination de la radioactivité dans les zones de circulation du personnel ou dans l'environnement.

Il est composé de deux barrières :



- une première barrière statique constituée par les appareils procédés et les enveloppes de conditionnement en contact direct avec les matières radioactives,
- une seconde barrière statique est constituée par les parois des cellules (zone 4) et celles des équipements (gainés de ventilation jusqu'au premier étage de filtration) qui en assurent la continuité. Elle a pour but :
 - de limiter la dissémination de matière radioactive en cas de défaillance de la première barrière,
 - d'assurer la protection contre l'irradiation du personnel,
 - de permettre les opérations nécessaires pour revenir à la situation normale.

Le confinement statique ainsi obtenu est complété par un confinement dynamique par ventilation forcée :

- le système de ventilation associé à la première barrière de confinement permet de maintenir les appareils du procédé en dépression par rapport aux cellules les contenant. Un sens d'air préférentiel est ainsi créé de ces cellules vers les appareils procédé, à travers les fuites éventuelles de la première barrière, limitant la dispersion de matière radioactive,
- le système de ventilation associé à la deuxième barrière de confinement, permet de maintenir une dépression entre le premier système de confinement et le second système de confinement, de manière à limiter une éventuelle dispersion de matière radioactive en dehors de ce premier système de confinement.

Un deuxième système de confinement est prévu en tout point où la continuité du premier système de confinement ne peut être totalement garantie (i.e. cas des traversées non classées non-disséminantes). Ce deuxième système est constitué d'au moins une barrière assurant une protection supplémentaire de l'environnement contre la dispersion des matières radioactives.

D'une manière générale, les salles situées autour des cellules actives font partie du deuxième système de confinement.

11.3 CONSEQUENCES SUR LE PERSONNEL

Les conséquences de la défaillance de l'équipement sur les travailleurs sont appréciées en prenant en compte l'environnement de l'équipement.

Les conséquences sur les travailleurs suite à une défaillance de l'équipement sont analysées à un niveau faible dans les scénarii du document de référence [5].

4 scénarii ont été étudiés :

- Fuite du circuit caloporteur dans la cellule,
- Fuite du circuit caloporteur dans le compartiment procédé,
- Perte de confinement du compartiment procédé,
- Perte concomitante des compartiments procédé et caloporteur.

Le document [5] présente l'impact sur les travailleurs pour les 4 scénarii comme suit :

Scénario 1 :

La présence de personnel en cellule [REDACTED] étant exclue (la zone 4 n'est pas accessible), aucune conséquence sur le personnel n'est à envisager, y compris dans les locaux adjacents de la zone 3.

Scénario 2 :

La présence de personnel en cellule [REDACTED] est exclue.

En l'absence de surpression notable remettant en cause l'intégrité du bouilleur 4140-31, la défaillance est donc sans conséquence directe sur le personnel pouvant être présent dans les locaux adjacents.

Une contamination du circuit caloporteur et le risque résultant d'une exposition externe du personnel peuvent nécessiter des dispositions concertées entre l'exploitant et les équipes radioprotection pour limiter l'accès aux locaux présentant un risque radiologique.

Scénario 3 :

La présence de personnel en cellule [REDACTED] est exclue.

Parmi les locaux accessibles au personnel en fonctionnement normal, ceux où sont présents les filtres et les conduits de ventilation sont impactés par cette défaillance en raison de l'augmentation de l'activité entraînée dans ces filtres et conduits.

Le DED majorant dans le local des filtres du DNF est estimé à [REDACTED] $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, et celui au voisinage des conduits de ventilation est estimé à [REDACTED] $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Les dispositions prises par l'exploitant et le service de radioprotection pour limiter l'accès aux locaux présentant un risque radiologique (contamination ou exposition) permettent d'assurer la protection du personnel au risque d'exposition résultant de la défaillance.

De façon plus générale, les différents dispositifs de détection radiologique (CRP) des locaux accessibles de l'atelier R2 permettent l'évacuation rapide du personnel présent en cas de risque radiologique.

Scénario 4 :

L'évaluation du DED dans le local des filtres du DNF et au voisinage des conduits de ventilation est estimée de la même façon que celle présentée pour le scénario 3 en considérant un rejet immédiat supplémentaire dû à la vapeur générée et extraite par le réseau de ventilation bâtiment.

Pour le scénario 4, le DED majorant à proximité des caissons filtres est estimé à [REDACTED] $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, celui à proximité d'un conduit de ventilation à [REDACTED] $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Le DED maximal à 1 mètre en cas de remontée de fluide radioactif dans les tuyauteries plongeantes cheminant en zone 3 est estimé à [REDACTED] $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Les dispositions prises par l'exploitant et le service de radioprotection pour limiter l'accès aux locaux présentant un risque radiologique (contamination ou exposition) permettent d'assurer la protection du personnel face au risque d'exposition externe résultant de la défaillance.

Les différents dispositifs de détection radiologique (CRP) des locaux accessibles du bâtiment R2 permettent l'évacuation rapide du personnel présent en cas de risque radiologique.

Les opérateurs sont équipés d'un Dosicard possédant une alarme en cas de risque radiologique.

11.4 CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT

Les conséquences de la défaillance de l'équipement sur l'environnement et le public sont appréciées en prenant en compte l'environnement de l'équipement.

Les conséquences sur l'environnement suite à une défaillance de l'équipement sont analysées dans le document de référence [5].

Aucun des scénarii étudiés n'entraîne d'impact significatif sur le personnel, le public ou l'environnement ni ne conduit à un impact supérieur à l'impact annuel induit par les rejets nominaux.

Les scénarii hautement pénalisants sont les scénarii 3 et 4.

- Perte de confinement du compartiment procédé,
- Perte concomitante des compartiments procédé et caloporteur.

Pour le scénario 3, l'impact à l'environnement est estimé en considérant la totalité de la solution radioactive déversée dans la lèchefrite de la cellule.

L'impact maximal serait de [REDACTED] μSv (pour un nourrisson à Digulleville).

Pour le scénario 4, l'impact à l'environnement est estimé en considérant la totalité de la solution radioactive déversée dans la lèchefrite de la cellule. Cet impact est également évalué en ajoutant un rejet immédiat supplémentaire dû à la vapeur générée et extraite par le réseau de ventilation bâtiment.

L'impact maximal serait de [REDACTED] μSv (pour un nourrisson à Digulleville).

Les mécanismes d'endommagement conduisant à de tels scénarii n'ont à ce jour jamais été observés sur le site.

12 DISPOSITIONS PARTICULIERES MISES EN ŒUVRE EN FONCTION DES MODES DE DEGRADATION

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif permettant de comparer l'ensemble des gestes réglementaires par rapport aux différents gestes compensatoires et dispositions préventives prévus pour un ESPN.

| Inspection réglementaire | | | Faisabilité (oui/non/ partielle) |
|-------------------------------|---|----------------|--|
| Type de suivi | Réglementation | Périodicité | |
| Inspection périodique | Vérification intérieure et extérieure de l'équipement Arrêté [2]- Annexe 5 - § 3 | 40 mois [2] | Partielle (S = surface visible, visuel externe 10%<S<20% de la surface de l'ESPN) |
| | Vérification de l'adéquation documentaire Arrêté [2]- Annexe 6 - § 2 | 60 mois [2] | Oui |
| | Vérification intérieure et extérieure de l'équipement Arrêté [2]- Annexe 6 - § 2 | 60 mois [2] | Partielle (S = surface visible, visuel externe 10%<S<20% de la surface de l'ESPN) |
| Requalification périodique | Epreuve Hydraulique Arrêté [2]- Annexe 6 - § 2 | 60 mois [2] | Oui |

Tableau 19 : Faisabilité des dispositions réglementaires sur l'équipement 4140-31 de R2

13 PERIMETRE DE LA DEMANDE POUR LE SUIVI EN SERVICE

Dans l'impossibilité d'effectuer la totalité des gestes réglementaires requis par les annexes 5 et 6 de l'arrête ESPN, les dispositions particulières envisagées, objet d'une demande d'aménagement, en application de l'article 1 du décret 2015-799, sont résumées dans le tableau suivant avec leur périodicité respective de mise en œuvre :

| Dispositions particulières | | Périodicité proposée |
|--|--|--|
| Gestes compensatoires à l'inspection périodique | Vérification visuelle extérieure partielle de l'équipement | 36 mois (S = surface visible, visuel externe 10%<S<20% de la surface de l'ESPN) [30] |
| | Mesures d'épaisseur sur zones accessibles (cf figure 28) | 36 mois [30] |
| | Epreuve hydraulique de la partie caloporteur en présence d'un organisme habilité à 1,2 PS (avec absence de visuel) | 12 mois * |
| | Bilan des cycles réels en température et pression | 12 mois [30] |
| | Analyse du bilan du suivi des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité) | 12 mois [30] |
| Requalification périodique | Vérification de l'adéquation documentaire Arrêté [2]- Annexe 6 - § 2 | 60 mois [30] |
| | Vérification visuelle extérieure partielle de l'équipement | 60 mois (S = surface visible, visuel externe 10%<S<20% de la surface de l'ESPN) [30] |
| | Epreuve Hydraulique Arrêté [2]- Annexe 6 - § 2 | 60 mois [30] |

(*) L'opération est réalisée annuellement ; l'intervalle entre deux opérations consécutives ne peut excéder 15 mois

Tableau 20 : disposition particulières pour l'équipement 4140-31 de R2

Définition des zones mesurées au titre de la maîtrise du risque corrosion :

| Zone mesurée | périodicité |
|---|-------------|
| Partie inférieure du bouilleur - fond et virole (B et C) | 36 mois |
| Calandre du bouilleur - partie médiane et inférieure (A et B) | 36 mois |

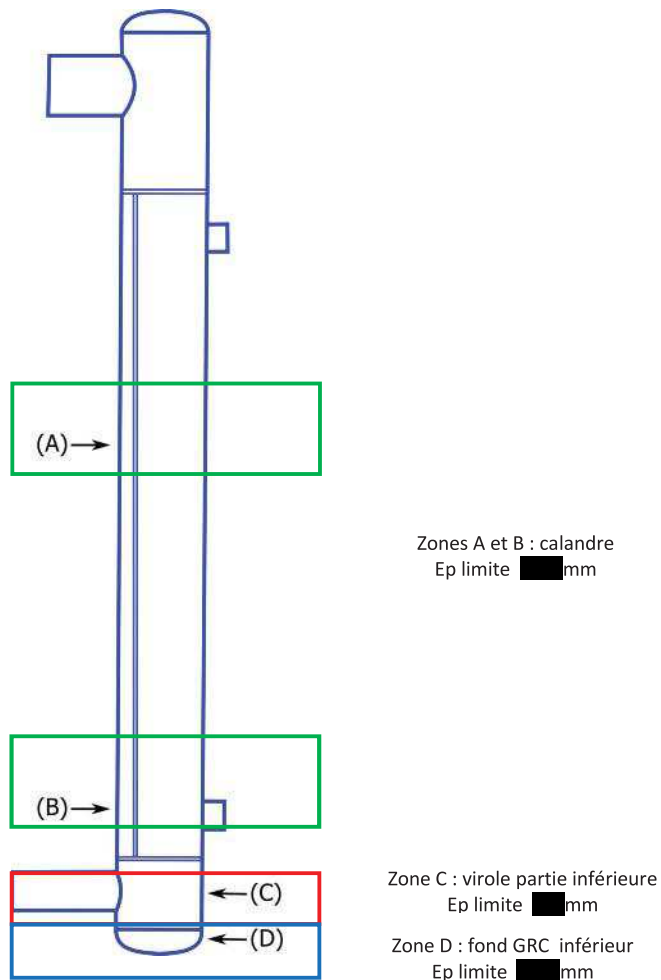


Figure 28 – Zones mesurées dans le cadre du POES

L'intégration de ces dispositions dans le POES sera révisée selon les compléments et validation apportées par l'obtention de la dérogation. Seront intégrés au POES les mesures des tubes du faisceau par la méthode MEXIBUS, avec une périodicité adaptée, sous réserve de leur faisabilité.

Conformément à la réglementation ESPN, l'OHA intervient dans le cadre de l'Inspection de requalification périodique de l'équipement.

AP

| Type Doc. | Activité | Cat.MT | N° Ordre | Révision |
|-----------|----------|--------|----------|----------|
| NT | 100807 | 12 | 0119 | C |

REF

AREVA
NC

~~REF~~

A l'issue des Opérations de requalification périodique, un procès-verbal est rédigé et signé par le représentant de l'OHA.

Ce procès-verbal atteste que les opérations de requalification périodique mentionnées dans cette présente note ont bien été réalisées. Le procès-verbal est accompagné des comptes rendus détaillés des opérations effectuées dans le cadre de cette inspection. Ce procès-verbal ainsi que les documents associés seront intégrés au Dossier d'EXploitation (DEX) de l'équipement.

De plus, si le procès-verbal fait état de constatations, celles-ci devront être intégrées au POES de l'équipement. Le POES de l'équipement sera donc révisé en conséquence vis à vis des constatations émises.