

Entité Propriétaire DT\_ES\_RS

Type doc NT NOTE TECHNIQUE-DESCRIPTIF-NOTE DE CALCUL

**JUSTIFICATION DE LA DEMANDE DES DISPOSITIONS  
PARTICULIERES DES CONDITIONS D'APPLICATION DU TITRE  
III DU DECRET 99.1046 - EVAPORATEURS DE  
CONCENTRATION DE PRODUITS DE FISSION - EVAPORATEUR  
4120-22 DE L'ATELIER T2**

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.



Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé

<b>Signataires :</b>			
	<i>Nom</i>	<i>Entité</i>	<i>Visa</i>
Rédacteur	[REDACTED]	EXT-AREVA NP	08/06/2016
Vérificateur	[REDACTED]	DT_PRO_CPS	08/06/2016
Approbateur	[REDACTED]	DETR_EC	08/06/2016

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



## 1 OBJET DU DOCUMENT ET CHAMP D'APPLICATION

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

De ce fait, l'évaporateur de concentration de Produits de Fission 4120 – 22 de l'atelier T2 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 de décision individuelle d'octroi de dispositions particulières de suivi en service en absence de dérogation existante 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 d'application du titre III du décret 99.1046.

## 2 OBJET DE LA REVISION

L'objet de cette révision est la prise en compte des demandes complémentaires formulées :

- dans le courrier [4],
- la prise en compte des réponses formulées au travers du courrier 2016-2185 concernant la reformulation de certaines parties du présent document
- suite à la l'inspection du 2 décembre 2015 la méthodologie du guide inter-exploitant ne peut être utilisée en appliquant les matrices de cotation.

Un plan de surveillance renforcée est présenté dans ce document conformément à la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire [6].

### 3 SIGLES ET ABREVIATIONS

ASV	Affiné Sous Vide
CND	Contrôles Non Destructifs
DE	Double-Enveloppe
DEX	Dossier d'Exploitation
DMF	Durée Minimale de Fonctionnement
EF	Eau Surchauffée
ESPN	Equipements Sous Pression Nucléaire
GRC	Grand Rayon de Courbure
INB	Installation Nucléaire de Base
OIHA	Organisme Indépendant Habilité et Accepté
PF	Produits de Fission
PI	Performance Intrinsèque
POES	Programme d'Opération, d'Entretien et de Surveillance
PS	Pression de Service
RPS	Rapport Provisoire de Sûreté
ZIS	Zones Identifiées les plus Sensibles

### 4 DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Décret 99.1046 du 13 décembre 1999 relatif aux Equipements Sous Pression
- [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] AS 100807 00 0002 : Justification du classement de l'évaporateur 4120 – 22 de l'atelier T2 en « ESPN de Niveau 2 » selon l'arrêté ESPN du 12 décembre 2005
- [6] Décision de l'Autorité de sûreté nucléaire de juin 2016 relative aux évaporateurs concentrateurs de solutions de produits de fission des installations nucléaires de base no 116, dénommée « usine UP3 A », et no 117, dénommée « usine UP2 800 », exploitées par AREVA NC dans l'établissement de La Hague (département de la Manche)
- [7] Arrêté du 15 Mars 2000 relatif à l'exploitation des équipements sous pression
- [8] Arrêté du 21 décembre 1999 relatif à la classification et à l'évaluation de conformité des équipements sous pression

- [9] Fiche COLEN n°24 : Vérification intérieure des équipements
- [10] 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
- [11] NT 2015-70511 Rapport d’inspection contrôle visuel de l’évaporateur PF 4120-22 de l’atelier T2
- [12] NT 100807 12 0002 B : Dossier Descriptif de l’évaporateur 4120 – 22 de l’atelier T2
- [13] 1990-18928 v 1.0 / NT 1302 12 002 001 Rév.A : Note de calcul partie chaudronnerie
- [14] 1990-18929 v 1.0 / NT 1302 12 002 002 Rév.B : Note de calcul ½ coquilles et double enveloppe
- [15] NT 100210 12 0005 D : Note de calcul – Détermination des épaisseurs minimales - Tenue à la pression
- [16] 1990-18930 v 1.0 / NT 1302 12 002 003 Rév.B : Note de calcul : Contrainte thermique et fatigue
- [17] NT 100210 12 0007 B : Note de calcul en fatigue des évaporateurs R2 et T2 4120-21/22/23
- [18] NT 100210 00 0149 B : Spécification technique de contrôle non destructif – Evaporateur de Concentration des Produits de Fission T2 4120-22
- [19] NT 100210 20 0039 A : Faisabilité de contrôle par ultrasons de soudure longitudinale sur équipement chaudronné
- [20] 2014-36993 : Principes de détermination de la durée de vie des équipements ESPN
- [21] 2015-56815 : Note de justification : calculs en fatigue des ESPN
- [22] 2013 - 29925 : Programme des Opérations d’Entretien et de Surveillance (POES) – Evaporateur 4120 – 22 de l’Atelier T2
- [23] 2015-67523 : Mesures d’épaisseur résiduelles des évaporateurs CPF de l’unité 4120 des ateliers R2 et T2

## 5 DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE L'EVAPORATEUR ESPN

### 5.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

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

L'évaporateur est constitué de cinq compartiments indissociables (Figure 1) :

- un compartiment procédé en dépression contenant des produits de fission à concentrer dont l'activité est supérieure à 370 GBq,
- quatre compartiments sous pression (demi-coquilles de chauffe) soudés extérieurement sur la virole ou le fond du compartiment procédé et contenant le fluide caloporteur (EF : eau surchauffée) sans activité radiologique :
  - une demi-coquille latérale supérieure [REDACTED]
  - une demi-coquille latérale inférieure [REDACTED]
  - deux demi-coquilles en fond de bouilleur [REDACTED]

### Evaporateur 4120-22 atelier T2

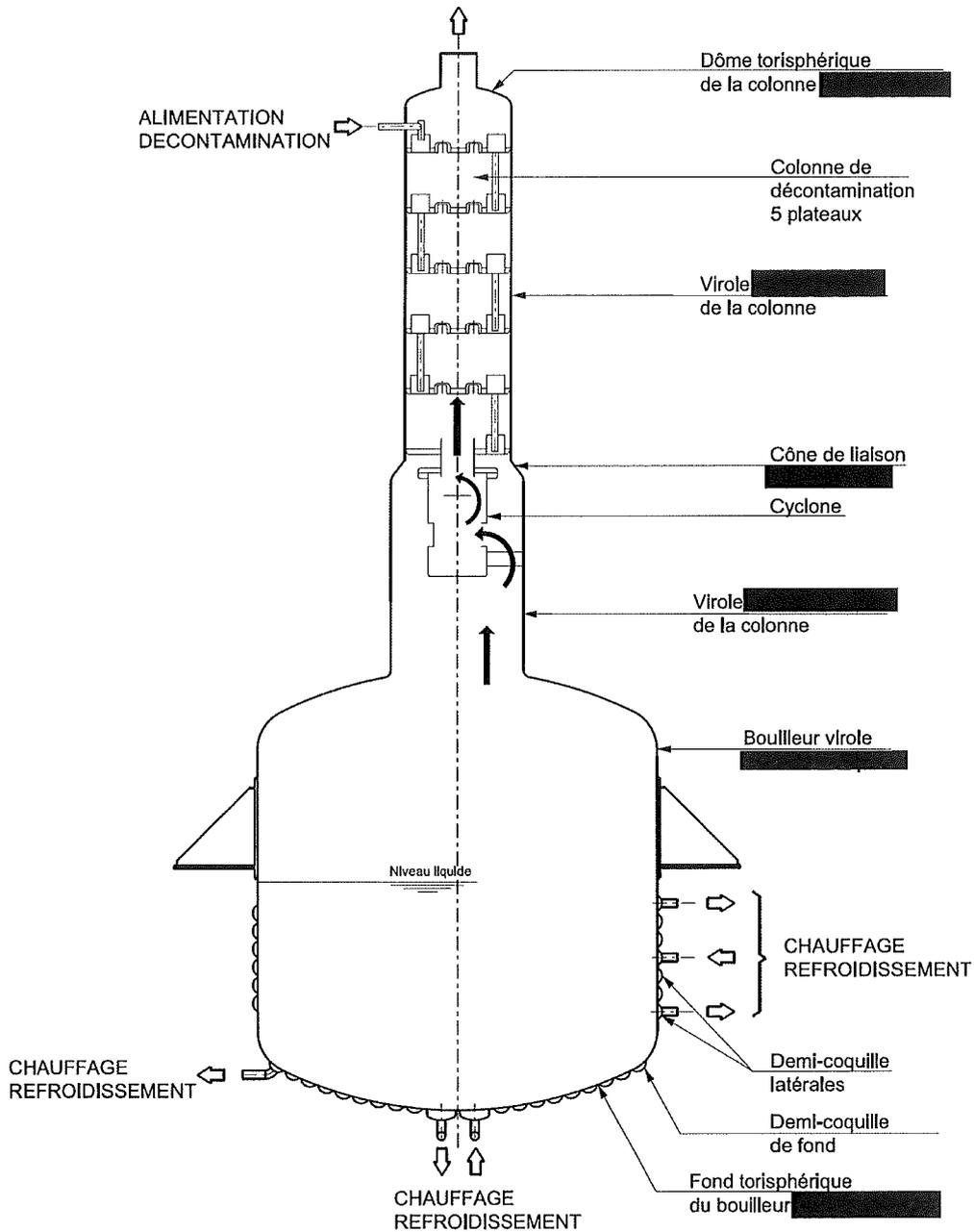


Figure 1 - Schéma descriptif de l'évaporateur 4120 – 22 de l'atelier T2

Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé

Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé

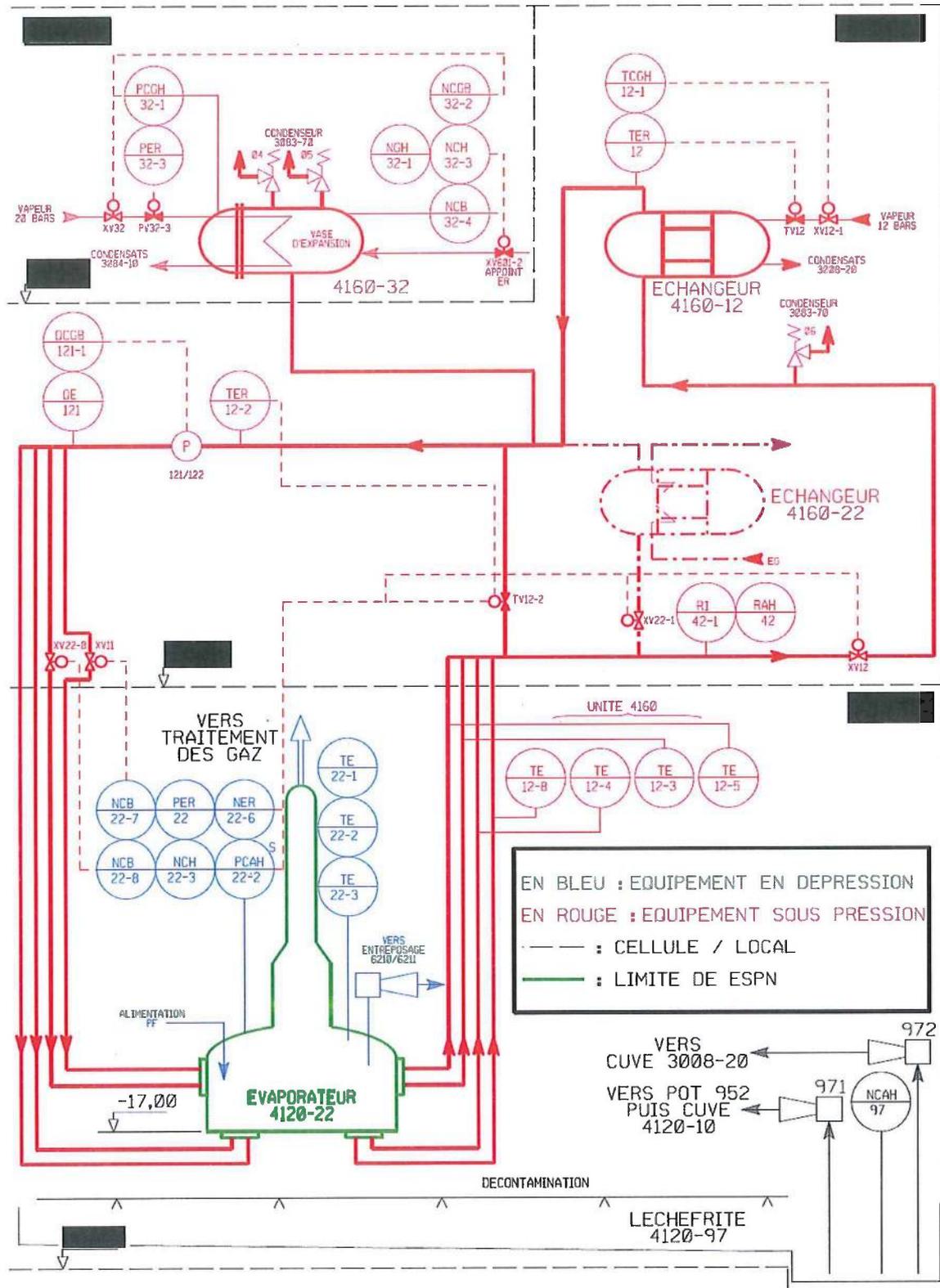


Figure 2 - Schéma de principe de l'évaporateur 4120- 22 et son circuit caloporteur 4160

## 5.2 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT PROCÉDÉ

Données	Unité(s)	Compartiment procédé
Fluide		Concentrats PF
Masse Volumique	kg.m <sup>-3</sup>	████████
Pression Normale de service	bar relatif	████████
Pression de calcul	bar relatif	████████
Température Normale de service	°C	██████
Volume total	L	████████
Volume Utile	L	████████

## 5.3 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT CALOPORTEUR

Données	Unité(s)	Compartiment caloporteur (½ coquilles)
Fluide		Eau refroidie / Eau surchauffée
Masse Volumique	kg.m <sup>-3</sup>	██████████
Pression Maximale Admissible (PS)	bar relatif	12
Température Maximale Admissible (TS)	°C	155*
Volume Boucle	m <sup>3</sup>	██████
Volume Utile ½ Coquilles	L	████████
Volume ½ coquille latérale supérieure	L	██████
Volume ½ coquille latérale inférieure	L	██████
Volume ½ coquilles fond du bouilleur	L	████████

\* Le dépassement incidentel de la température normale de l'EF est contrôlé par un seuil de température haute (4160 TCGH 12.1) sur la sortie EF de l'échangeur 4160-12 dont l'atteinte arrête automatiquement l'envoi de vapeur sur l'échangeur. Ce TCGH est fixé à ██████████

## 6 CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES

L'évaporateur 22 de l'unité 4120 de l'atelier T2 de l'INB 116 est constitué (Figure 1) :

- d'une colonne de décontamination à plateaux à calottes, avec en partie basse un cyclone « casse-mousses »,
- d'un bouilleur (ou pot).

Les principales caractéristiques de l'évaporateur 4120-22 sont les suivantes :

- hauteur totale [REDACTED]
- hauteur de la colonne : [REDACTED]
- hauteur du bouilleur [REDACTED]
- diamètre intérieur du bouilleur : [REDACTED]
- diamètre intérieur de la colonne : [REDACTED]
- volume utile [REDACTED]
- volume total : [REDACTED]

Le matériau constitutif de l'évaporateur 4120-22 est [REDACTED] [REDACTED] de désignation normée [REDACTED] selon AFNOR.

Les épaisseurs nominales de fabrication des différents composants pour l'évaporateur 4120-22 de T2 sont (Figure 3) :

- Colonne + Tuyauterie [REDACTED] (Orange),
- Réduction : [REDACTED] (Vert),
- Bouilleur : Fonds GRC : [REDACTED] (Bleu),  
Virole : [REDACTED] (Rouge),
- Demi-coquilles : [REDACTED] (Rose).

Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé

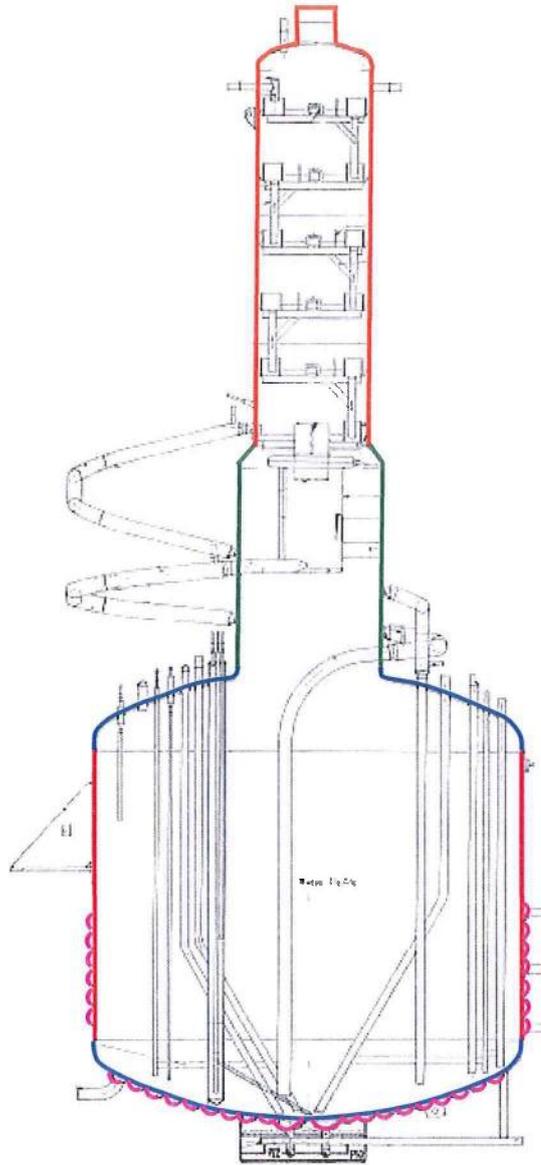


Figure 3 - Epaisseurs nominales de fabrication des tôles de l'évaporateur

## 7 EXIGENCES REGLEMENTAIRES

### 7.1 APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION

L'équipement bien que non soumis au décret du 2 avril 1926 « portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux », du fait que ne sont soumis que les appareils à pression vapeur ou eau surchauffée d'un volume supérieur à 100 L, a respecté les exigences de ce décret tant pour sa conception, sa fabrication et pour sa mise en service.

L'évaporateur 4120 – 22 a été conçu, fabriqué (*épreuve initiale le 06/02/86 à [REDACTED] – Voir DER 1302 12 002 206 A*) et mis en service *le 09 Août 1990* avant l'évolution réglementaire de 1999 / 2000 (Décret 99.1046 du 13 décembre 1999 [1], Arrêté du 21 décembre 1999 [8] et Arrêté du 15/03/2000 [7]).

Il a été demandé un régime dérogatoire vis-à-vis de l'Arrêté [7] pour la réalisation des contrôles réglementaires 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, ...).

La demande de dérogation HAG 00513 07 20281 du 11/10/07 reprenait sous forme de synthèse les différents éléments (notes techniques, analyses de sûreté, dossiers descriptifs réglementaires) précédemment transmis (HAG 0 0513 02 20102 du 22/09/05, HAG 0 0153 06 20026 du 16/02/06 et HAG 0 0513 06 20147 du 29/06/06) explicitant le contenu des mesures compensatoires proposées.

Ces demandes de dérogation sont restées sans réponse à ce jour.

### 7.2 APPLICABLES A L'ESPN

#### 7.2.1 Classement de l'équipement

L'évaporateur 4120-22 de concentration des Produits de Fission (PF) de l'atelier T2 relève du classement N2 et de catégorie IV selon les exigences des arrêtés du 12 décembre 2005 [2] et du 21 décembre 1999 [8].

Le fluide caloporteur (eau surchauffée) appartient aux fluides de Groupe 2. Cependant, d'après l'article 4 de l'arrêté [2], si l'équipement est de niveau N1 ou N2, comme c'est le cas pour l'évaporateur 4120-22 de T2, les critères de classement des fluides de groupe 1 sont à appliquer même si le fluide est de groupe 2.

D'après les annexes 5 et 6 de l'arrêté ESPN [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 inférieure 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.

L'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2 est un équipement de niveau N2 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 ESPN [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 ESPN [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.

L'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2 est entièrement soudé par conception et n'a pas d'orifice de visite, ainsi la vérification visuelle intérieure porte sur un ensemble de parties vides.

La fiche COLEN n°24 [9] 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 ESPN [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 ESPN [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-compartimenté, l'épreuve hydraulique s'applique à tous les compartiments dont la pression maximale admissible est supérieure à 0,5 bar relatif. 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 de l'évaporateur 4120-22 de T2 (voir § 5.2), aucune épreuve hydraulique n'est à réaliser.

En effet, il est précisé dans l'Annexe 1 du courrier [10] 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 ESPN [2], l'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2 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

L'évaporateur 4120-22 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 (bloc B).

La cellule d'implantation de l'évaporateur 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 Ouest : [REDACTED]
- voile Est [REDACTED]
- voile Nord : [REDACTED]
- voile Sud [REDACTED]

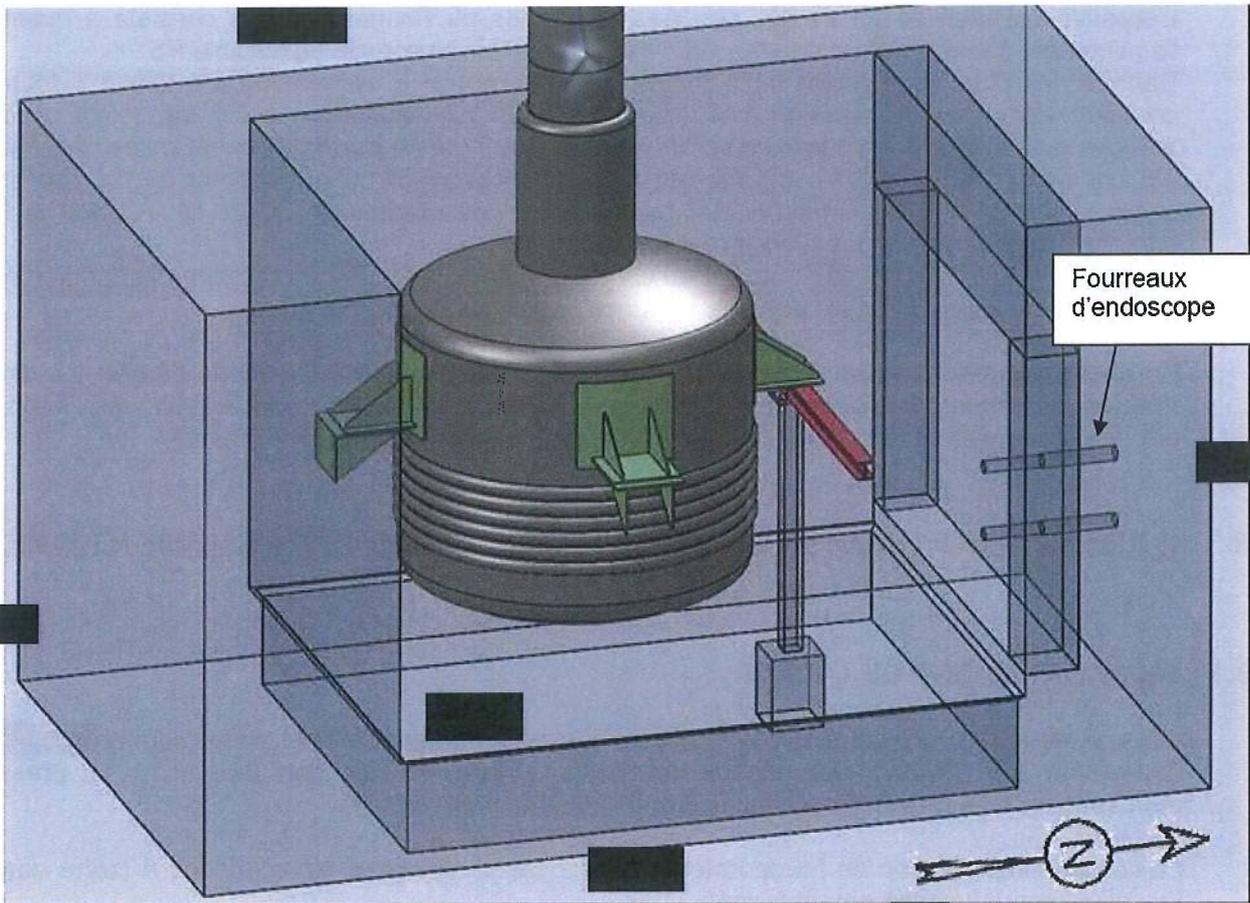


Figure 4 – Vue 3D de l'évaporateur 4120-22 de T2 dans la cellule

Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé

## 8.2 ACCESSIBILITE A L'EQUIPEMENT

L'équipement est situé dans une cellule chimique. En conformité avec nos standards de conception, des passages d'endoscope au nombre de deux existent sur le voile entre la cellule [REDACTED] et la zone 3 adjacente (loc [REDACTED]).

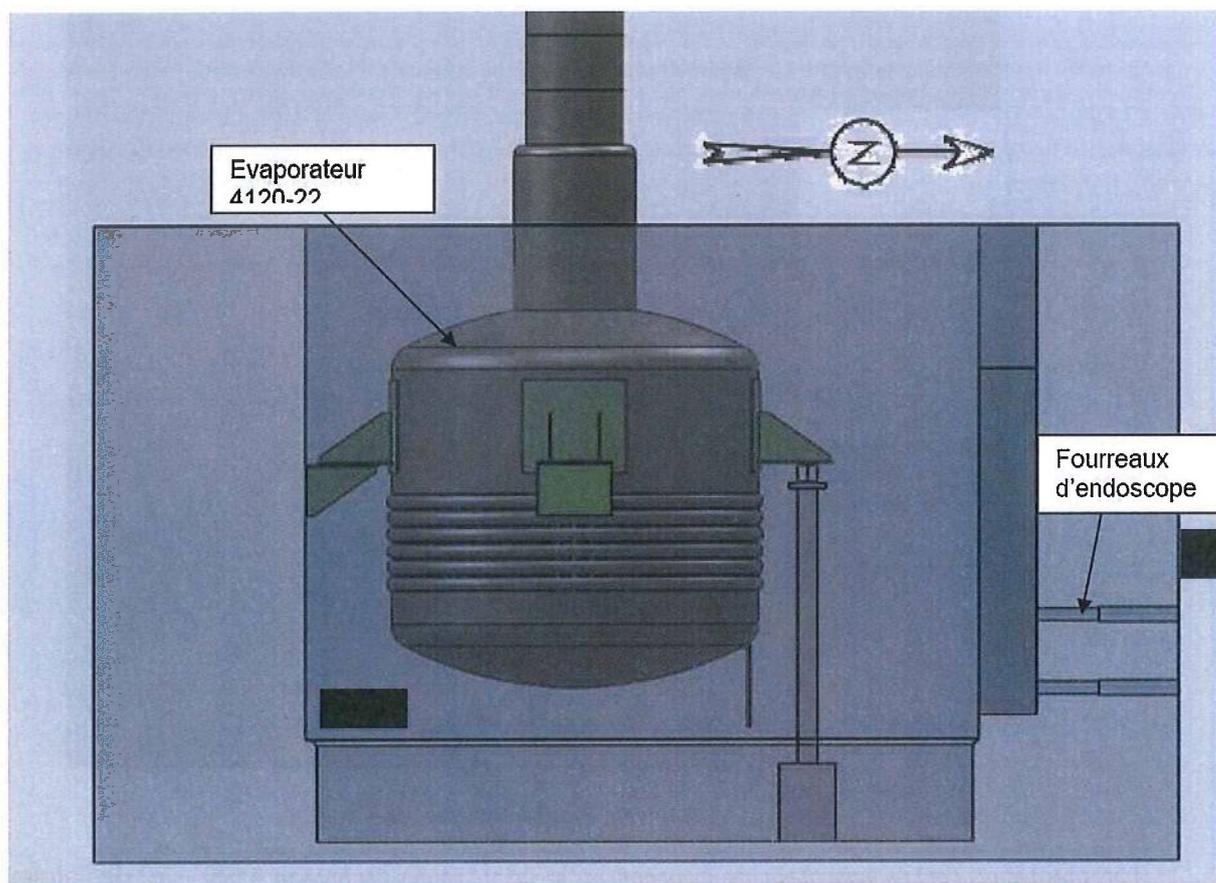


Figure 5 – Vue des moyens d'accès à la cellule de l'évaporateur T2-4120-22

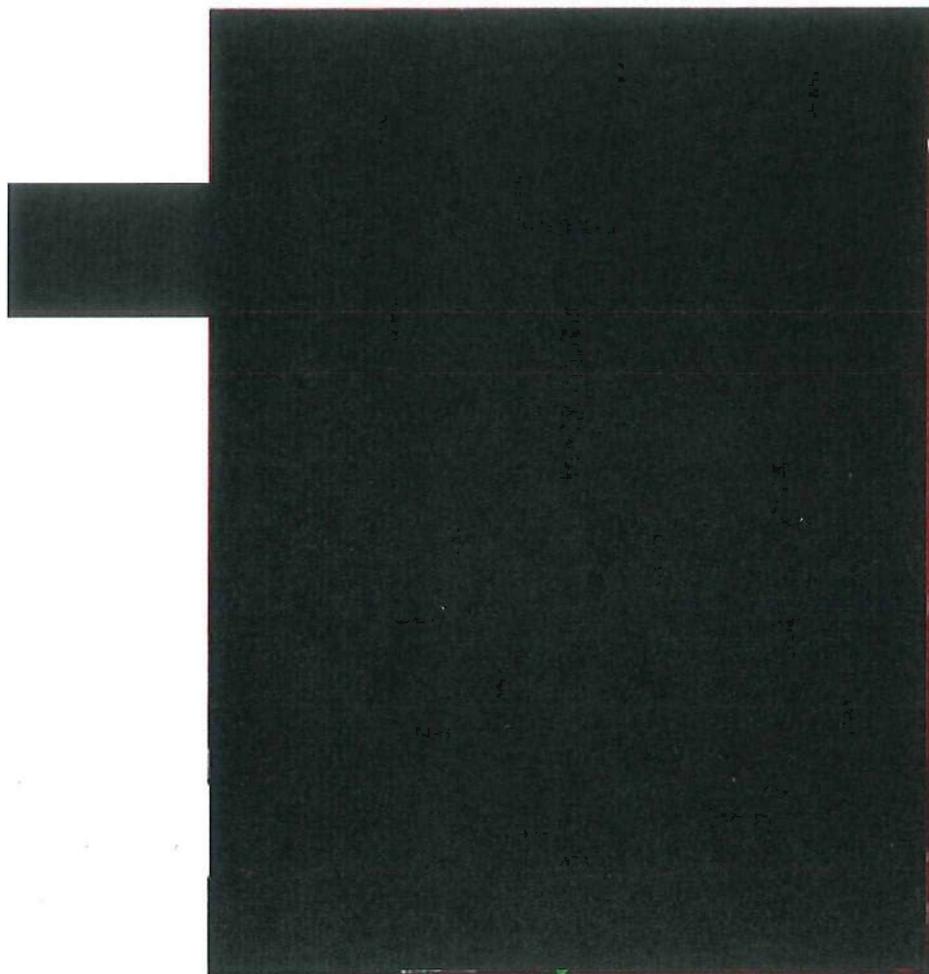


Figure 6 – Fourreaux d'endoscope

L'implantation de l'évaporateur de concentration de produits de fission 4120 – 22 de l'atelier T2 en zone inaccessible (dosimétrie extrêmement élevée) rend les inspections réglementaires impossibles.

Les débits de dose relevés dans le cadre de la campagne de mesures d'épaisseur réalisées entre fin d'année 2012 et début d'année 2013 sur l'évaporateur PF (évaporateur vidangé, rincé, rempli partiellement avec de l'eau) sont les suivants :

- entre [REDACTED] mGy/h au niveau des ouvertures des bouchons d'endoscopes,
- entre [REDACTED] mSv/h dans la cellule zone 4 à 1 m du mur,
- entre [REDACTED] mSv/h dans la cellule zone 4 à 2 m du mur,
- de [REDACTED] mGy/h dans le sas d'intervention en zone 3 à 1 m.

L'accès au contact de l'équipement est donc impossible avec les débits de dose environnants. Le REX sur le rinçage [REDACTED] effectué sur l'évaporateur R7 montre qu'il est difficile de faire abaisser le débit de dose environnant malgré des rinçages répétitifs.

### 8.3 EXAMEN VISUEL

L'équipement est un équipement sous pression nucléaire à multi compartiments entièrement soudé, en conformité avec les standards de conception des équipements nucléaires situés dans les cellules de zone 4 afin de prévenir et réduire les risques dans les cellules (en Zone 4 des Usines UP2 – 400, UP2 – 800 et UP3), sans élément démontable permettant d'effectuer les inspections visuelles internes des différents compartiments. La performance intrinsèque pour la vérification visuelle intérieure est donc égale à 0.

L'examen visuel externe des parois de l'équipement est partiel compte tenu de l'implantation de l'équipement en zone 4 et des possibilités d'introduction de moyens de vision à distance au travers des bouchons existants d'endoscopes. La performance intrinsèque pour la vérification visuelle extérieure dépend de la surface qui peut être inspectée.

Pour l'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2, la surface pouvant être inspectée ne couvre pas l'ensemble des zones sensibles et moins de 20 % de la surface totale. Le caractère non suffisant de l'examen visuel sur l'équipement a été constaté lors du geste d'inspection réalisé sur site, en présence d'un organisme mandaté par l'ASN, en Octobre 2015. Le compte rendu de cette inspection est consultable dans la note [11].

Ainsi, l'examen visuel externe partiel des parois de l'équipement n'est pas considéré comme un geste compensatoire au titre de la présente demande de dispositions particulières.

### 8.4 MISE EN PRESSION (EPREUVE HYDRAULIQUE)

#### 8.4.1 Compartiment nucléaire

Dans le cas d'un équipement multi-compartimenté tel que l'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2, 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 aussi 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 des compartiments caloporteurs de l'équipement ont été réalisés. La faisabilité du geste est acquise.

### 8.5 PERIMETRE DE LA DEMANDE DE DISPOSITIONS PARTICULIERES

La vérification extérieure et intérieure de l'équipement n'est pas réalisable compte tenu des éléments suivants :

- son implantation dans une cellule de zone 4 dont l'ouverture induit une exposition élevée des intervenants ;
- le nombre limité de passages d'endoscopes ;
- l'ambiance radiologique à proximité de l'équipement.

Ces difficultés motivent 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 [1] aux ESPN [3], 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 ».

#### 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 [12].

Le Dossier Descriptif de l'équipement [12] 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 traitement thermique, Procédure de contrôle CND...),
- Documents de contrôles et épreuves (Contrôle des approvisionnements, Certificats matière, PV d'état des lieux, PV de contrôle dimensionnel, PV de contrôle CND, Plans de repérage radios...),
- Documents essais et recette (PV d'épreuve au vide, PV d'épreuve hydraulique, PV de contrôle dimensionnel, Plan d'identification matières...).

### 9.1.2 Matériau

Le matériau utilisé pour la fabrication est [REDACTED]

Successivement dénommé [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

Concernant les soudures, [REDACTED]  
[REDACTED] pour les premières passes du côté du compartiment procédé, et le [REDACTED] pour les passes de remplissage du côté externe. L'épaisseur de [REDACTED] est supérieure et/ou égale [REDACTED]. Cette épaisseur est considérée comme l'épaisseur qui peut être consommée en maintenant une résistance du même ordre de grandeur que la résistance minimale définie à la conception.

Un suivi rigoureux de la qualité des demi-produits a été réalisé tout au long du processus d'approvisionnement lors de la fabrication des évaporateurs PF de T2.

L'ensemble des exigences de qualité d'élaboration de [REDACTED] a été pris en compte par l'intermédiaire de la définition de critères de qualité et de contrôles de l'approvisionnement matière des tôles, des tubes sans soudures, des barres, des pièces forgées et des métaux d'apport utilisés dans la construction des évaporateurs.

### 9.1.3 Note de calcul statique

Lors de la conception de l'évaporateur T2-4120-22, des notes de calcul statiques ont été réalisées :

- note de calcul partie chaudronnerie [13], la partie chaudronnerie désigne le corps de l'évaporateur 4120 dans son ensemble (voir limites colorées hors demi-coquille de la Figure 3 - Epaisseurs nominales de fabrication des tôles de l'évaporateur)
- note de calcul ½ coquilles et double enveloppe [14].

Le Code de calcul utilisé : CODAP C révision 82 avec majoration des critères retenus : Majoration de la pression d'épreuve (2 x Ps).

- Ces calculs ont été repris dans une nouvelle note de calcul statique :
  - Note de calcul – Détermination des épaisseurs minimales - Tenue à la pression [15],
  - Code de calcul utilisé : CODAP 2010,
  - Logiciel utilisé : MICROPROTOL V32.9.0.3 / ANSYS,
  - Les conditions de calcul :
    - La situation de service :

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	██████████	██████████
Pression intérieure max :	██████████	██████████
Pression intérieure min :	██████████	
Hauteur de liquide :	██████████	-
Densité de service :	██████████	██████████

Tableau 1 - Situation de service

Nota : La prise en compte d'une température de calcul à ██████████ provient du REX de l'exploitation.

- La situation d'épreuve :

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	██████████	██████████
Pression d'épreuve cuve :	██████████	██████████
Densité d'épreuve :	██████████	██████████

Tableau 2 – Situation d'épreuve du corps

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	██████████	██████████
Pression d'épreuve cuve :	██████████	██████████
Densité d'épreuve :	██████████	██████████

Tableau 3 – Situation d'épreuve des ½ coquilles (2 x Ps)

Il y a majoration de la pression d'épreuve des ½ coquilles de l'équipement puisque celle-ci est égale à 2 x Ps.

- La situation de ré-épreuve :

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	██████████	██████████
Pression intérieure max :	██████████	██████████
Pression intérieure min :	██████████	
Hauteur de liquide :	██████████	-
Densité de service :	██████████	██████████

Tableau 4 – Situation de ré-épreuve

- Le matériau :

L'évaporateur est réalisé en ██████████

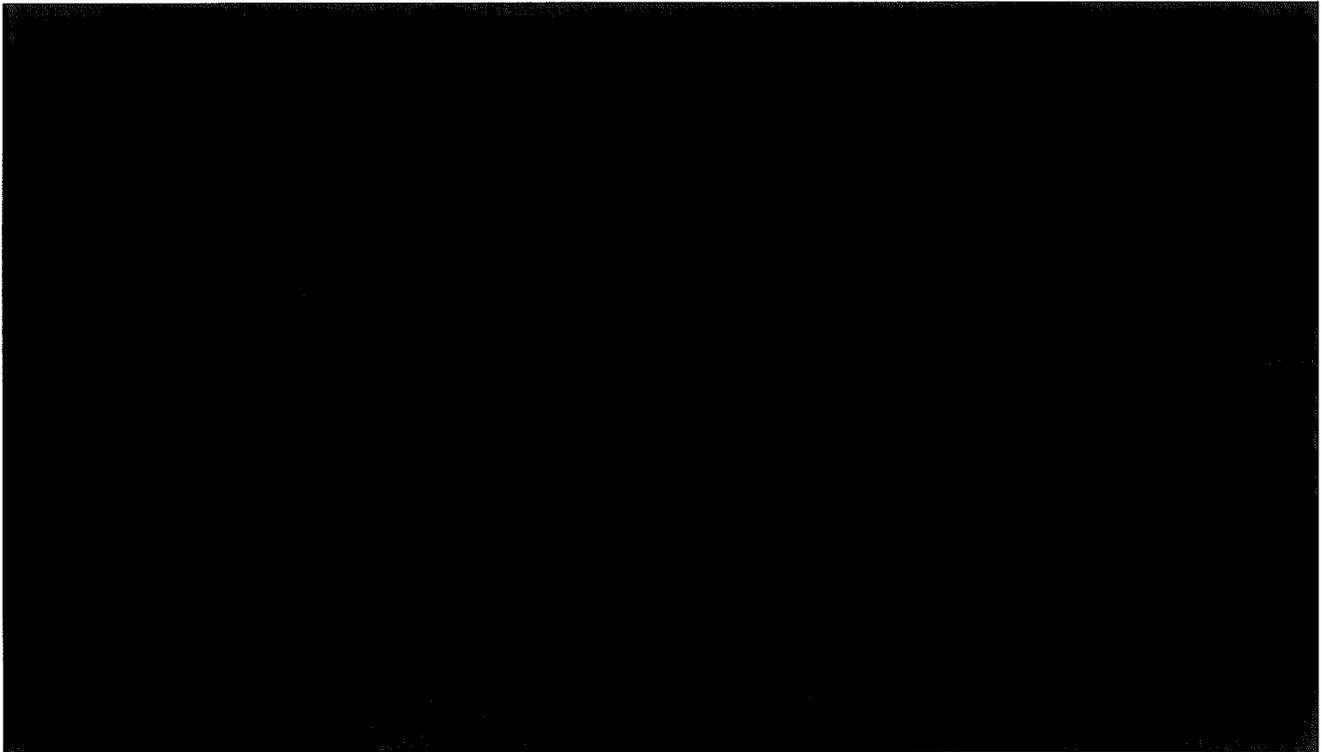


Tableau 5 – Caractéristiques du matériau ██████████

- Contraintes admissibles :

- Conditions normales :

$$f = \min\left(\frac{R'_{p1,0}}{1.2}; \frac{R'_m}{3}\right)$$

- Conditions exceptionnelles :

$$f = \min\left(0,95 \times R'_{p1,0}; \frac{R'_m}{2}\right)$$

Avec :

- $R'_{p1,0}$  : valeur minimale garantie de la limite conventionnelle d'élasticité à 1 % à la température de calcul.
- $R'_m$  : valeur minimale garantie de la résistance à la traction à la température de calcul.

On obtient la contrainte nominale de calcul  $f$  suivant la température (température ambiante à [redacted] et de calcul à [redacted]) :

	[redacted]
Conditions normales	[redacted]

Pour rappel, la température de calcul est de [redacted]

	[redacted]
Conditions exceptionnelles	[redacted]

Tableau 6 – Contraintes admissibles

- les résultats de calcul :

Le tableau ci-dessous présente les épaisseurs minimales calculées pour la tenue à la pression des différents composants de l'évaporateur :

	$e_{mn}$ (service) Cas 1 P max/mini	$e_{mn}$ (réépreuve) Cas 2 P max/mini	Max (emin)
Fond torisphérique inférieur bouilleur			
Fond torisphérique inférieur bouilleur (au niveau des ½ coquilles)			
Virole bouilleur			
Virole bouilleur (au niveau des ½ coquilles)			
Fond torisphérique supérieur bouilleur			
Colonne (Ø 1000)			
Cône (***)			
Colonne (Ø 800)			
Fond GRC			
½ coquilles			

Tableau 7 – Résultats de la note de calcul statique

(\*) Epaisseur validée à l'aide d'un modèle éléments finis présenté dans la note [15].

(\*\*) La ré-épreuve de l'équipement est uniquement effectuée coté caloporteur.

(\*\*\*) Le logiciel ne détermine pas l'épaisseur minimale nécessaire pour la tenue du cône, mais uniquement une vérification de l'épaisseur indiquée. Une étude spécifique pour le cône présent en annexe C de la note de calcul [15] permet de valider l'épaisseur minimale nécessaire du cône à

La valeur d'épaisseur minimale dimensionnante retenue comme épaisseur limite pour la tenue à la pression est la valeur maximale des épaisseurs minimales de tous les composants du compartiment.

Dans le cas précis d'un évaporateur, deux valeurs minimales dimensionnantes sont à retenir : l'épaisseur limite de tous les composants du bouilleur et l'épaisseur limite de tous les composants de la colonne.

Dans le cas de l'évaporateur 4120-22 de T2 :

- l'épaisseur limite retenue pour la tenue à la pression du bouilleur est de [redacted] obtenue pour le fond du bouilleur au niveau des demi – coquilles.
- l'épaisseur limite retenue pour la tenue à la pression de la colonne est de [redacted] obtenue pour le cône de la colonne.

- les hypothèses de modélisation :

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

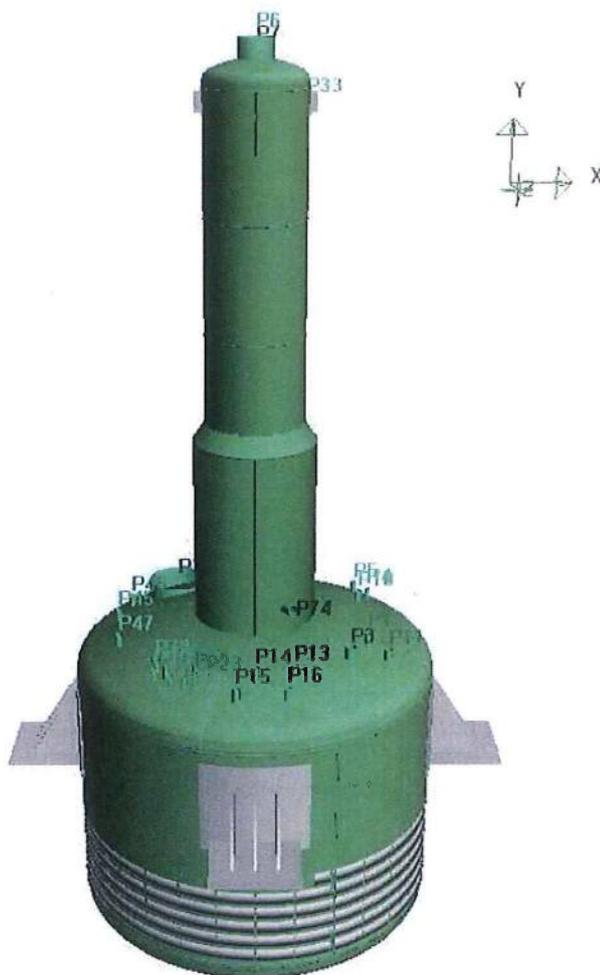


Figure 7 – Vue du modèle de calcul

### 9.1.4 Note de calcul en fatigue

Lors de la conception de l'évaporateur T2-4120-22, des notes de calcul en fatigue ont été réalisées :

- note de calcul – Contrainte thermique et fatigue [16].

Ces calculs ont été repris dans une nouvelle note de calcul en fatigue :

- note de calcul – Tenue à la fatigue [17].

Les calculs ont été effectués en considérant le début de vie de l'équipement, c'est-à-dire avec une paroi de 14 mm. Il est montré dans la note que le fait de prendre le début de vie de l'équipement est pénalisant vis-à-vis de la fatigue. Les données et résultats de calculs sont les suivants :

- Code de calcul utilisé : CODAP 2010,
- Logiciel utilisé : ANSYS V12.0,
- Les conditions de calcul :

	Procédé	½ coquilles
Température mini de service :	██████████	██████████
Température maxi de service :	██████████	██████████
Pression mini de service :	██████████	██████████
Pression maxi de service :	██████████	██████████

Tableau 8 – Conditions de calcul pour la fatigue

**Nota :** La prise en compte d'une température maximale de service à ██████████ provient du REX de l'exploitation

- Les transitoires :

Température du caloporteur (°C)	Temps (h)	Température de la solution (°C)	Temps (h)
██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████

Phase	Température du caloporteur (°C)	Temps (h)
Mise en chauffe	██████████	██████████
Régime Etabli	██████████	██████████
Refroidissement	██████████	██████████
Vidange	██████████	██████████

Tableau 9 – Transitoires thermiques de l'évaporateur considéré pour le calcul en fatigue

- Le modèle de calcul :

La zone critique en fatigue est présentée en rouge ci-dessous (1ere demi-coquille du fond)

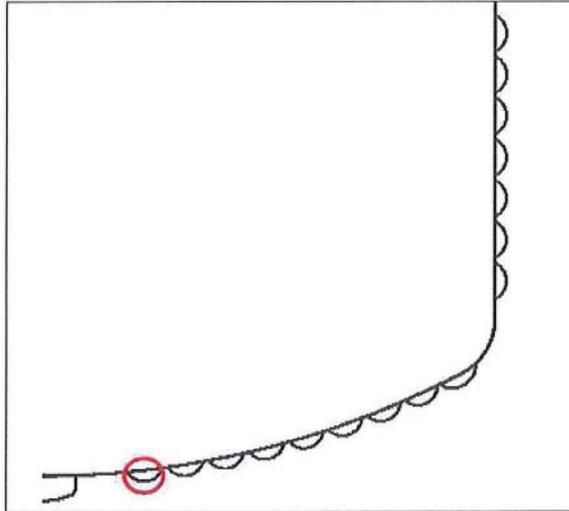


Figure 8 – Modèle de calcul en fatigue axi-symétrique

- Variation de contrainte équivalente maximale au cours d'un cycle évaporatoire :

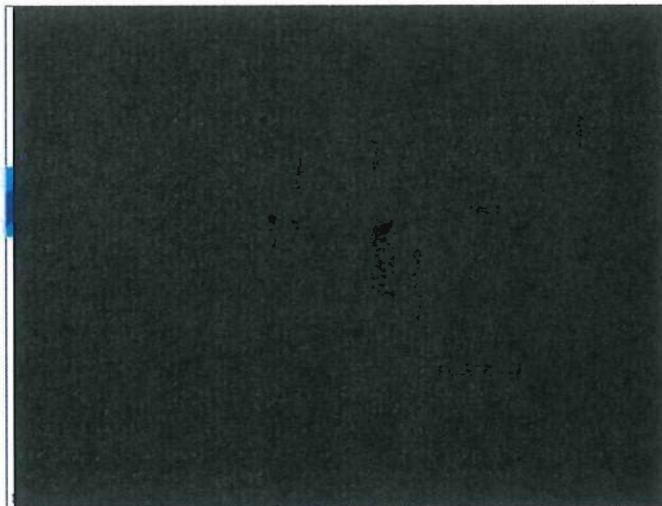


Figure 9 – Valeur de la variation de contrainte équivalente maximale (MPa)

- Détermination du nombre de cycles admissible en température :

Remarque : [C1] désigne le renvoi à l'application du CODAP 2010.

**Détermination de la température  $t^*$**

D'après le C11.3.5.22 du code réf [C1] :

$$t^* = 0,75 t_{\max} + 0,25 t_{\min}$$

$$t^* = 0,75 * \blacksquare - 0,25 * \blacksquare = \blacksquare$$

**Détermination de la résistance élastique à  $t^*$   $R_{e,t^*}$**

D'après 3.2 :

$$R_{e,t^*} = \blacksquare \text{ MPa}$$

**Détermination du coefficient de correction en température**

D'après le C11.3.12.3.1 et C11.1.3.3 du code réf [C1] :

$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} t^*$$

$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} * \blacksquare = \blacksquare$$

**Détermination du coefficient de correction en épaisseur**

D'après le C11.3.12.4.2 du code réf [C1] :

$$C_e = \text{MIN} \left\{ [1] ; \left[ \left( \frac{25}{e} \right)^{0,25} \right] \right\}$$

$$C_e = \text{MIN} ([1] ; [(25/\blacksquare)^{0,25}]) = 1$$

**Détermination du coefficient de correction global de résistance à la fatigue**

D'après le C11.3.12.4.3 du code réf [C1] :

$$C_r = C_t * C_e$$

$$C_r = \blacksquare * \blacksquare = \blacksquare$$

**Détermination de la classe de résistance de la soudure**

D'après le C11.3.12.1.3 du code réf [C1] :

$$C_1 = (\text{Classe})^3 \cdot 2 \cdot 10^6$$

Or, d'après C11.1.3.5, le cas de la soudure des demi-coquilles est un assemblage bout à bout ou en angle à pleine pénétration exécuté d'un seul côté sans support, qui correspond à une classe  $\blacksquare$

On a donc :

$$C_1 = \blacksquare * 2 \cdot 10^6 = \blacksquare$$

**Détermination du coefficient de correction de plasticité des contraintes d'origine mécaniques ou assimilées**

D'après le C11.3.11.1.2a du code réf [C1], si  $\Delta\sigma_{lin,meca} > 2 R_{e,t}$  le coefficient de correction de plasticité  $k_e$  doit être prise en compte dans la variation de contrainte mécanique et thermiques autres que celles engendrées par des gradients de température dans l'épaisseur de la paroi (cas présent) :

$$k_e = 1 + A_0 \left( \frac{\Delta\sigma_{lin}}{2 R_{e,t}} - 1 \right)$$

Avec  $A_0 = 0,4$  pour les aciers Austénitiques

On a donc :

$$k_e = \blacksquare$$

**Détermination du coefficient de correction de plasticité pour la contrainte moyenne**

D'après C11.3.11.1.3, le coefficient de correction de plasticité pour la contrainte moyenne est déterminé à partir des contraintes totales. Ce coefficient est donc applicable pour les zones non soudées, mais ne l'est pas pour les zones soudées.

**Détermination du coefficient de correction de contrainte totale effective**

D'après C11.3.11.2, ce coefficient est uniquement applicable sur les zones non soudées.

**Détermination de la variation de contrainte maximale corrigée**

D'après le C11.3.11.1.2d du code réf [C1] :

$$\Delta\sigma^* = \blacksquare = k_e \cdot \Delta\sigma_{lin}$$

**Détermination du nombre de cycles admissibles**

D'après le C11.3.5.6b2 du code réf [C1],  $\Delta\sigma^* = \Delta\sigma^{**}$  pour des cycles de contrainte géométrique.

Donc :

$$\Delta\sigma^* = \Delta\sigma^{**} = \blacksquare$$

D'après le C11.3.13.1a2 du code réf [C1], pour une zone soudée :

$$N_{adm} = \frac{C_1}{\left( \frac{\Delta\sigma^{**}}{C_r} \right)^3}$$

$$N_{adm} = \blacksquare \text{ cycles}$$

Le nombre de cycles admissible en température pour l'évaporateur 4120-22 de T2 est estimé à  $\blacksquare$  cycles.

- Bilan du nombre de cycles admissible en température :

DONNEES D'ENTREES		
Température Maxi		°C
Température Mini		°C
Epaisseur de la zone		mm
Rp1,0t*		MPa
Rm		MPa
Coeff Poisson		
Variation contrainte max		MPa
Classe de résistance		MPa <sup>3</sup>
DONNEES DE SORTIE		
Tmoy		°C
Coeff Corr Temp		
Coeff Corr Epaisseur		
Coeff Corr Tot		
Corr plastique mécanique ke		
Variation contrainte max corrigée		MPa
Ncycle adm ZS		cycles
Ncycle adm ZNS		cycles
Ncycle adm MAX		Cycles

Tableau 10 – Bilan du nombre de cycles admissibles

- Détermination du nombre de cycle admissible pour un cycle pression seule :

Il est démontré que le couple Pression / Epaisseur des évaporateurs 4120-21-22-23 de R2 [REDACTED] est plus pénalisant pour une variation de pression d'amplitude maximale que le couple Pression / Epaisseur des évaporateurs 4120-21-22-23 de T2 [REDACTED]. De ce fait, le calcul du taux d'endommagement de T2 est réalisé sur la base des résultats de R2 :

### Détermination de la température $t^*$

D'après le C11.3.5.22 du code réf [C1] :

$$t^* = 0,75 t_{\max} + 0,25 t_{\min}$$

$$t^* = 0,75 * \blacksquare + 0,25 * \blacksquare = \blacksquare$$

### Détermination de la résistance élastique à $t^*$ $R_{e,t^*}$

D'après 3.2 :

$$R_{e,t^*} = \blacksquare \text{ MPa}$$

### Détermination du coefficient de correction en température

D'après le C11.3.12.3.1 et C11.1.3.3 du code réf [C1] :

$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} t^*$$

$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} * \blacksquare = \blacksquare$$

### Détermination du coefficient de correction en épaisseur

D'après le C11.3.12.4.2 du code réf [C1] :

$$C_e = \text{MIN} \left\{ [1] ; \left[ \left( \frac{25}{e} \right)^{0,25} \right] \right\}$$

$$C_e = \text{MIN} ([1] ; [(25/\blacksquare)^{0,25}]) = 1$$

### Détermination du coefficient de correction global de résistance à la fatigue

D'après le C11.3.12.4.3 du code réf [C1] :

$$C_r = C_t * C_e$$

$$C_r = \blacksquare * 1 = \blacksquare$$

### Détermination de la classe de résistance de la soudure

D'après le C11.3.12.1.3 du code réf [C1] :

$$C_1 = (\text{Classe})^3 * 2.10^6$$

Or, d'après C11.1.3.5, le cas de la soudure des demi-coquilles est un assemblage bout à bout ou en angle à pleine pénétration exécuté d'un seul côté sans support, qui correspond à une classe  $\blacksquare$ .

On a donc :

$$C_1 = (\blacksquare)^3 * 2.10^6 = \blacksquare$$

### Détermination du nombre de cycles admissibles

D'après le C11.3.5.6b2 du code réf [C1],  $\Delta\sigma^* = \Delta\sigma^{**}$  pour des cycles de contrainte géométrique.

Donc :

$$\Delta\sigma^* = \Delta\sigma^{**} = \blacksquare \text{ MPa}$$

D'après le C11.3.13.1a2 du code réf [C1], pour une zone soudée :

$$N_{adm} = \frac{C_1}{\left(\frac{\Delta\sigma^{**}}{C_r}\right)^3}$$

$$N_{adm} = \blacksquare = \blacksquare \text{ cycles}$$

Le nombre de cycles admissibles en pression pour l'évaporateur 4120-22 de T2 est estimé à  $\blacksquare$  cycles par assimilation  $\blacksquare$

### 9.1.5 Niveau du facteur de fabrication de l'équipement

Compte tenu de la conformité du dimensionnement à un code de construction, 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

Les modes de dégradation potentiels (cf. § 9.3.1), vu les conditions d'exploitation, sont la corrosion par dissolution uniforme et généralisée du fait du contact de la paroi avec une solution d'acide nitrique chaude et la fatigue du fait de cycle en température et en pression suivant les différentes phases de fonctionnement de l'équipement. Les phénomènes de dégradation potentiels sont donc la perte d'épaisseur et la fissuration au-delà d'un certain nombre de cycles de fonctionnement.

L'état réel de l'équipement est par conséquent caractérisé par des mesures d'épaisseur résiduelle des zones accessibles pour surveiller l'état d'avancement de la corrosion, et par le suivi de l'historique de fonctionnement pour surveiller que l'évaporateur travaille bien dans la plage de cycle prévue à la conception.

Des campagnes de contrôle CND ont été effectuées sur l'évaporateur 4120-22 de T2. Les investigations se sont déroulées :

- 1<sup>ère</sup> campagne : du 31 août au 9 septembre 2011
- 2<sup>ème</sup> campagne : du 8 janvier au 15 janvier 2015

### 9.2.2 Examen visuel

Lors des observations visuelles réalisées, au regard des contraintes d'accessibilité et des méthodes d'investigation disponibles, les surfaces suivantes ont été inspectées :

- la virole du bouilleur (au-dessus des spires, entre les spires et en-dessous des spires),
- le fond GRC du bouilleur (entre les spires et dans le rayon de carre).

Aucune anomalie particulière n'a été décelée.



Figure 10 – Image extraite des observations visuelles réalisées sur l'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2 en août 2011.

### 9.2.3 Mesures d'épaisseur

#### 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) en termes de corrosion (cf. § 9.3.2.1.1) avec un nombre de points de mesure permettant de garantir une statistique suffisante. Ces mesures concernent en particulier l'arrivée d'eau surchauffée du fond torisphérique inférieur des évaporateurs de l'atelier T2. Les zones sensibles correspondent aux zones de chauffes de l'évaporateur soumises à un flux thermique supérieur aux zones à température d'ébullition de la solution.

Les spécifications relatives aux contrôles non destructifs sont exposées dans une note technique [18], qui précise notamment une cartographie idéale (dans l'état de nos connaissances) de mesures d'épaisseur résiduelle à réaliser pour le suivi des pertes d'épaisseur. Ce document peut être amené à évoluer en fonction des résultats obtenus lors de la précédente campagne de contrôles.

#### 9.2.3.2 Caractérisation réelle

L'évaporateur de concentration de Produits de Fission 4120-22 de l'atelier T2 est situé en zone 4, les mesures d'épaisseur sont réalisées depuis des salles adjacentes en zone 3 à l'aide de sondes US [REDACTED]

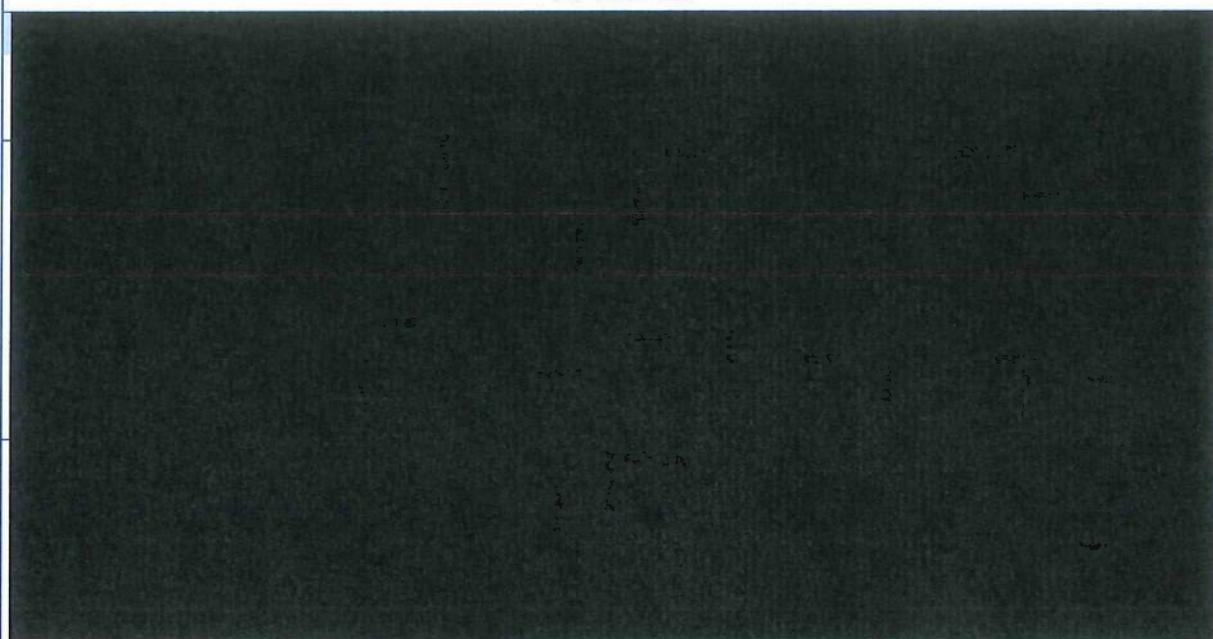
Lors des campagnes de mesures réalisées précédemment (campagnes 2011 et 2015), la zone de mesure est réduite à un secteur angulaire [REDACTED] et définie en hauteur selon les limites suivantes :

- limite supérieure : sur la virole, quelques centimètres au-dessus des spires,
- limite inférieure : sur le fond GRC, 4ème interspire en partant de l'extérieur.

Les moyens de contrôle, perches, sondes, sont constamment en cours d'amélioration pour optimisation en fonction des besoins définis dans l'idéal et des données sur l'accessibilité en cellule disponibles depuis la première campagne de mesures. Notamment, des moyens de mesure par les lignes d'eau surchauffée ont été développés et déployés sur les évaporateurs de l'atelier [REDACTED] entre fin 2014 et début 2015. La faisabilité d'un CND pour pouvoir déterminer les épaisseurs des soudures a été envisagée, cependant il s'est avéré que cette mesure n'était pas réalisable avec les moyens actuels [19].

Les résultats des campagnes de mesures d'épaisseur de 2011 et 2015 sont communiqués dans le tableau suivant.

**T2 4120-22**



Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé

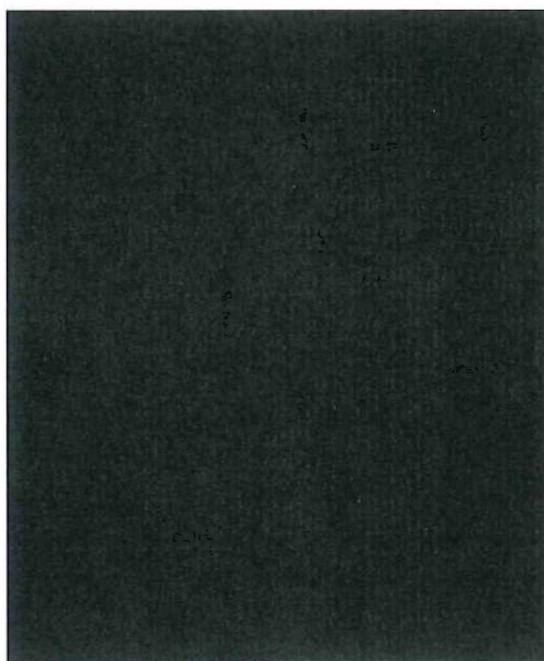
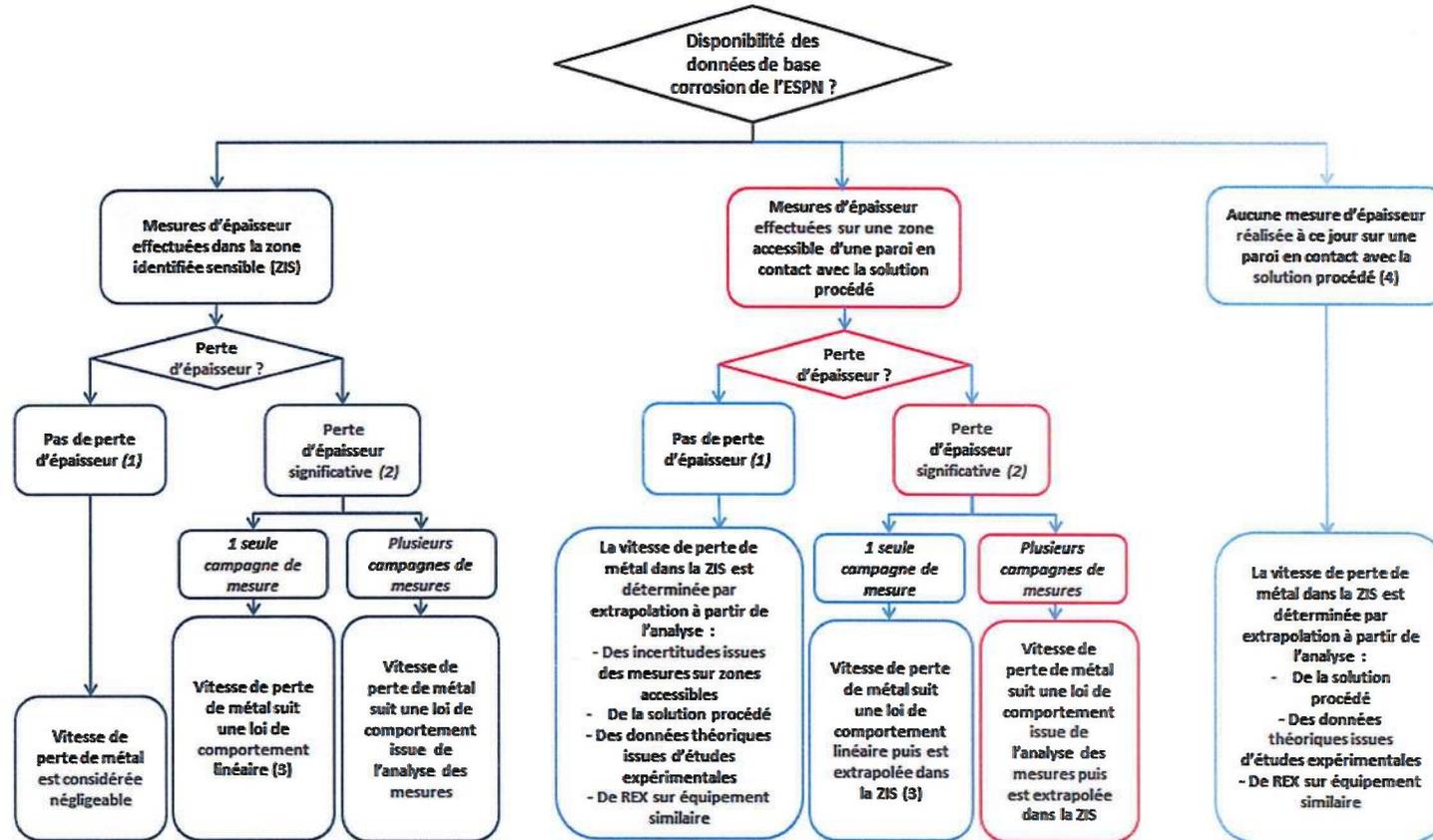


Tableau 11 - Résumé des mesures d'épaisseur par US obtenues lors des campagnes de 2011 et 2015.

### 9.2.3.3 Estimation de l'évolution de la corrosion

#### 9.2.3.3.1 Démarche

Les principes de détermination de la durée de vie des équipements ESPN vis-à-vis de la corrosion par dissolution uniforme et généralisée sont précisés dans le document [20]. Ils sont synthétisés dans la figure suivante. Le cas de cet évaporateur est encadré en rouge.



- (1) L'épaisseur mesurée est comprise dans la plage de tolérance de spécification d'approvisionnement des tôles.
- (2) L'épaisseur mesurée est hors de la plage de tolérance de spécification d'approvisionnement des tôles.
- (3) Depuis la mise en service des ESPN de l'ELH, le mode de fonctionnement et la composition des solutions traitées ont très peu varié. La vitesse de corrosion est considérée constante. Pour des cas particuliers de variation significative, l'historique de fonctionnement serait pris en compte.
- (4) Situation rencontrée lors de la première campagne de mesure. L'accessibilité de la zone en contact avec la solution procédé s'avère impossible avec les moyens de mesure disponibles.

Figure 11 – Principes de détermination de la durée de vie des équipements ESPN. Le cas de cet évaporateur est encadré en rouge

### 9.2.3.3.2 Epaisseur limite

Pour l'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2, l'épaisseur limite est liée à une spécificité de fabrication. Les soudures du bouilleur sont des soudures [REDACTED] qui ont été réalisées avec [REDACTED]

[REDACTED] au niveau de la surface en contact avec la solution procédé et [REDACTED] pour les passes de remplissage au niveau de la surface en contact avec le caloporteur ou l'atmosphère de la cellule. L'épaisseur minimale de la soudure réalisée avec la [REDACTED] est [REDACTED]

L'épaisseur limite est déduite à partir des épaisseurs initiales des tôles. L'épaisseur limite pour la [REDACTED]

### 9.2.3.3.3 Vitesse de perte d'épaisseur

À ce jour, l'évaporateur 4120-22 de l'atelier T2 a fait l'objet de deux campagnes de mesures d'épaisseur. Les vitesses de perte d'épaisseur moyennes peuvent être calculées pour ces zones à partir des mesures.

Le Tableau 12 présente les valeurs de vitesses de perte d'épaisseur moyennes obtenues par zone.

Élément	ID	Vitesse de corrosion (µm/an)
Virole	H/2	[REDACTED]
	H/4	[REDACTED]
	H/6	[REDACTED]
	H/8	[REDACTED]
	H/10	[REDACTED]
	H/12	[REDACTED]
	H/14	[REDACTED]
	ZIS : Arrivée EF latérale bas	[REDACTED]
Fond	H/15	[REDACTED]
	H/16	[REDACTED]
	H/17	[REDACTED]
	H/18	[REDACTED]
	H/19	[REDACTED]
	ZIS : Arrivée EF Fond	[REDACTED]

Tableau 12 - Vitesse de perte d'épaisseur moyenne obtenue par zone – Évaporateur 4120-22 de T2 – F1 = [REDACTED]; F2 = [REDACTED]  
(Cf. 9.3.2.1.3.4)

### 9.2.3.3.4 Détermination d'une durée minimale de fonctionnement par rapport à la corrosion

Les calculs de durée de vie sont effectués pour la ZIS, arrivée d'eau surchauffée du fond GRC. Les résultats sont présentés dans le Tableau 13.

Épaisseur limite (mm)	F1	F2	DMF
██████	██████	██████	██████

Tableau 13 - Durée minimale de fonctionnement estimée à ce jour dans la zone sensible – Evaporateur 4120-22 de T2

\* Facteur F2 à utiliser dans le calcul de la DMF, s'il y a nécessité d'extrapoler avec des mesures faites à proximité de la sortie EF. Dans le cas contraire ce facteur est « sans objet » dans le calcul.

## 9.2.4 Suivi de l'historique de fonctionnement

### 9.2.4.1 Hypothèse de conception

Comme il a été déterminé au § 9.1.4, le nombre de cycles admissibles suivant les données du REX exploitant est  $N_{adm.} =$  █████ cycles. La fissuration par fatigue n'est pas à craindre si le nombre de cycles évaporatoire en fin de vie de l'équipement est inférieur à █████ cycles. Il a été estimé dans la note [17] un nombre de cycles de █████ cycles évaporatoires sans coupure pression et █████ cycles évaporatoires avec coupure pression pour une durée de vie de l'équipement de █████ s.

### 9.2.4.2 Historique

Depuis la mise en service en Août 1990 jusqu'à fin 2015, l'historique du fonctionnement des évaporateurs 4120 de T2 [21] permet d'obtenir le Tableau 14.

Nombre de cycles	Variation en température seule	Variation en pression seule
T2 4120-21	██████	██████
T2 4120-22	██████	██████
T2 4120-23	██████	██████

Tableau 14 – Bilan des cycles

### 9.2.4.3 Détermination d'une durée minimale de fonctionnement par rapport à la fatigue

Le tableau suivant présente la comparaison du nombre de cycles réellement subis par l'équipement avec le nombre de cycles admissibles. A fin 2015, le taux d'endommagement en fatigue est significativement inférieur à 1.

Nombre de cycles réels température	Nombre de cycles admissibles température	Critère : $N_{T\text{réel}} / N_{T\text{adm}}$
██████████	██████████ Cycles	██████████

Nombre de cycles réels pression	Nombre de cycles admissibles pression Configuration début exploitation	Critère : $N_{P\text{réel}} / N_{P\text{adm}}$
██████████ Cycles	██████████ Cycles	██████████

Tableau 15 – Marge fatigue de l'évaporateur 4120-22 de T2

### 9.2.5 Niveau du facteur état de l'équipement

Au vu des éléments cités ci-dessus, le niveau du facteur état de l'équipement est estimé comme étant un facteur de **Niveau 2**.

## 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
- Adéquates : 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 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

### 9.3.1 Sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles

L'identification des modes de dégradation est synthétisée dans le tableau ci-dessous. L'analyse précise la liste des modes de dégradation analysés et les éléments de justification permettant de faire apparaître les phénomènes de dégradation potentiels retenus pour la détermination du facteur de dégradation.

Mode de dégradation	Justification	Mode de dégradation potentiel (Oui / Non)
<b>Viellissement induit par contrainte mécanique à basse température</b>		
- 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	Un seul type de matériaux est utilisée pour la fabrication de cet équipement.	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	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 des évaporateurs en [REDACTED]	Non
<b>Vieillessement induit par contrainte mécanique à haute température</b>		
- 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 fluage peut se produire pour des [REDACTED] [REDACTED] à partir de [REDACTED]. La température maximale d'utilisation de l'équipement est trop faible pour induire un vieillissement thermique.	Non
<b>Vieillessement induit par usure mécanique</b>		
Usure due au frottement entre deux solides	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	Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes.	Non
Mécanismes couplés : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tribocorrosion</li> <li>• Erosion-corrosion</li> <li>• Cavitation-corrosion</li> </ul>	Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes.	Non
<b>Vieillessement induit par corrosion à basse température</b>		
- 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 type de 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 de [REDACTED] - Il n'y a aucun risque de piqûration de [REDACTED] au niveau de la boucle caloporteur. - Le caloporteur est constitué d'eau [REDACTED]	Non
- Corrosion humide : caverneuse	- Le fluide procédé n'est pas de nature à engendrer une corrosion localisée vis-à-vis de [REDACTED] - Le caloporteur est constitué d'eau [REDACTED]	Non
- Corrosion humide : intergranulaire	- [REDACTED] travaille dans son domaine passif. - Il n'y a aucun risque de corrosion intergranulaire de [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
<b>Vieillissement induit par corrosion à haute température</b>		
Corrosion haute température	Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes.	Non
<b>Vieillissement sous irradiation</b>		
Vieillissement sous flux neutronique	Les études menées en réacteur sur [REDACTED] et les [REDACTED] montrent que l'impact de ce flux neutronique devient significatif à partir d'environ [REDACTED]. Aucun équipement de l'Etablissement AREVA NC la Hague ne rencontre ce niveau de flux neutronique.	Non

Tableau 16 - Liste des modes de dégradation

Les modes de dégradation subis par l'équipement sont la corrosion par dissolution uniforme et généralisée, et la fatigue. Les phénomènes de dégradation potentiels sont précisés dans le tableau ci-dessous :

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

Tableau 17 - Identification des modes de dégradation de l'évaporateur T2 4120-22

## 9.3.2 Corrosion

### 9.3.2.1 Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation

#### 9.3.2.1.1 Données expérimentales

Le comportement de [REDACTED] en milieu nitrique de concentration de produits de fission est de type dissolution uniforme.

Les études expérimentales ont notamment étudié l'impact d'espèces potentiellement pénalisantes pour la corrosion de [REDACTED] en milieu nitrique de retraitement du combustible nucléaire, tels que des ions oxydants, les halogénures ou le fer.

- o Ions oxydants :

Il est couramment admis que le milieu PF est globalement réducteur en la présence de formol, d'acide formique et d'acide nitreux lors de l'étape de concentration en dénitrification formique et devient oxydant lors de l'étape de reflux total suite à l'élimination de ces espèces. Le passage d'un ion oxydant à sa valence supérieure dépend de la nature du couple redox et de sa cinétique dans le milieu.

Des études ont montré le caractère très improbable de l'oxydation du chrome (III) en chrome (IV) lors de cette seconde phase du cycle. Le passage au degré d'oxydation supérieur d'autres espèces situées à des valeurs de potentiel plus élevées que celle du chrome comme Ru, Ag, Ce et Mn est donc également fortement improbable et seront donc par conséquent sans impact sur la corrosion de [REDACTED]. Le neptunium pourrait être présent à son degré d'oxydation +VI et entraîner une augmentation de la vitesse de corrosion, cependant les études montrent que cette corrosion reste de type dissolution homogène dans la plage de fonctionnement des évaporateurs.

- o Halogénures :

Deux halogénures sont susceptibles d'être présents dans la solution PF : le fluor et le chlore. L'expérience montre que leur présence cause une accélération de la corrosion, cependant celle-ci reste de type dissolution homogène. De plus, ceux-ci complexent avec les éléments zirconium, fer et aluminium présents dans le milieu (en quantité significative pour le Zr), réduisant significativement leur pouvoir corrosif. Le ratio molaire Zr/F étant notamment suffisant pour avoir une concentration en fluor non complexé négligeable en terme de corrosion de [REDACTED].

- o Ions Fe<sup>3+</sup> :

Les ions Fe<sup>3+</sup> proviennent de la corrosion de l'acier dans le milieu nitrique en amont des évaporateurs et dans les évaporateurs. Ceux-ci catalysent la réaction d'oxydation du fer. Sur la plage de fonctionnement des évaporateurs, la vitesse de corrosion est d'autant plus élevée que la concentration en ions Fe<sup>3+</sup> est importante.

Les études expérimentales montrent que la corrosion de l'acier [REDACTED] en présence d'ions Fe<sup>3+</sup> est de type dissolution homogène jusqu'à [REDACTED] en milieu HNO<sub>3</sub> [REDACTED] à ébullition. La concentration en ions Fe<sup>3+</sup> au sein des évaporateurs en fonctionnement est restée en moyenne inférieure à [REDACTED] et diminue depuis le début d'exploitation des équipements pour atteindre des valeurs de l'ordre de [REDACTED] depuis 2002. Ce paramètre est par ailleurs suivi dans les concentrats.

Le mécanisme est également thermiquement activé ce qui engendrera une perte d'épaisseur d'autant plus importante que la température de paroi est grande.

L'ensemble des demi-produits entrant dans la fabrication d'un évaporateur PF, ainsi que l'impact des opérations de mise en forme ou d'assemblage ont fait l'objet d'études expérimentales visant à vérifier leur impact sur le comportement en corrosion. L'approvisionnement et la fabrication ont ainsi été effectués dans le respect des règles de conception issues des données expérimentales.

Ainsi, la sensibilité des zones à la corrosion est identifiée dans le tableau ci-dessous, de la zone la plus sensible à la moins sensible.

Zone	Matière	Environnement	Etat
<b>n°1 : Arrivée eau surchauffée</b> - fond du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : eau surchauffée	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> =
<b>n°2 : Arrivée eau surchauffée</b> - circuit latéral bas virole du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : eau surchauffée	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> =
<b>n°3 : Arrivée eau surchauffée</b> - circuit latéral haut virole du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : eau surchauffée	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> =
<b>n°4 : Paroi sous double enveloppe</b> - fond du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : eau surchauffée	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> =
<b>n°5 : Paroi sous double enveloppe</b> - circuit latéral bas virole du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : eau surchauffée	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> =
<b>n°6 : Paroi sous double enveloppe</b> - circuit latéral haut virole du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : eau surchauffée	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> =
<b>n°7 : Paroi interspire</b> - fond du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relati
<b>n°8 : Paroi interspire</b> - circuit latéral bas virole du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relati

Zone	Matière	Environnement	Etat
n°9 : Paroi interspire - circuit latéral haut virole du bouilleur	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif
n°10 : Paroi bouilleur sous niveau liquide	Tôles - soudures	Int : Solution liquide concentrât PF Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif
n°11 : Paroi bouilleur au-dessus du niveau liquide	Tôles – soudures – pièces forgées	Int : Phase vapeur-condensat Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif
n°12 : Colonne intermédiaire	Tôles – soudures – pièces forgées	Int : Phase vapeur-condensat Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif
n°13 : Colonne 1 <sup>er</sup> plateau	Tôles – soudures – pièces forgées	Int : Phase vapeur-condensat Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif
n°14 : Colonne 2 <sup>ème</sup> à 4 <sup>ème</sup> plateau	Tôles – soudures – pièces forgées	Int : Phase vapeur-condensat Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif
n°15 : Colonne 5 <sup>ème</sup> plateau	Tôles – soudures – pièces forgées	Int : Distillat Ext : atmosphère de la cellule	T <sub>ext</sub> = T <sub>int</sub> = P <sub>int</sub> = P <sub>ext</sub> = relatif

Tableau 18 - Sensibilité des zones à la corrosion de l'évaporateur 4120-22 de T2

### 9.3.2.1.2 Retour d'expérience sur l'utilisation de [REDACTED]

Précédemment, [REDACTED] avait été retenu en 1965 pour la construction des évaporateurs de Produits de Fission [REDACTED] de l'atelier [REDACTED] puis [REDACTED] avait été retenu en 1978 pour celle des évaporateurs [REDACTED] et finalement le choix de [REDACTED] [REDACTED] a été fait en 1983 pour la construction des évaporateurs de [REDACTED] et pour la construction de l'évaporateur de [REDACTED]

L'utilisation de ces évaporateurs a été effectuée sur des plages de fonctionnement plus ou moins différentes vis-à-vis des paramètres de température et vis-à-vis des compositions chimiques des solutions à traiter. Les vitesses de corrosion ne sont donc pas directement comparables.

### 9.3.2.1.3 Retour d'expérience des inspections

#### 9.3.2.1.3.1 Evaporateur R7 : REX percement

À ce jour, l'évaporateur R7 n'est pas démantelé. Selon une observation visuelle au moyen d'un endoscope dans le bouilleur de l'évaporateur effectuée lors d'une mise en eau de la double enveloppe, le percement s'est produit au niveau de l'arrivée d'eau surchauffée sur la paroi latérale basse de la virole du bouilleur.

Remarque : Pour l'évaporateur R7, l'épaisseur initiale des tôles était plus faible sur la virole que sur le fond inférieur.

#### 9.3.2.1.3.2 Évaporateurs R2 4120-21, -22 et -23 et T2 4120-23 : REX effet thermique

L'effet thermique sur la vitesse de corrosion concerne principalement les zones chauffées et adjacentes, c'est-à-dire sous double enveloppe et en interspire.

Le facteur « F1 » qui précise le lien entre la vitesse de corrosion sous DE et en interspire adjacente est défini de la façon suivante :

$$F1 = \frac{V_{corr}^B}{V_{corr}^A}$$

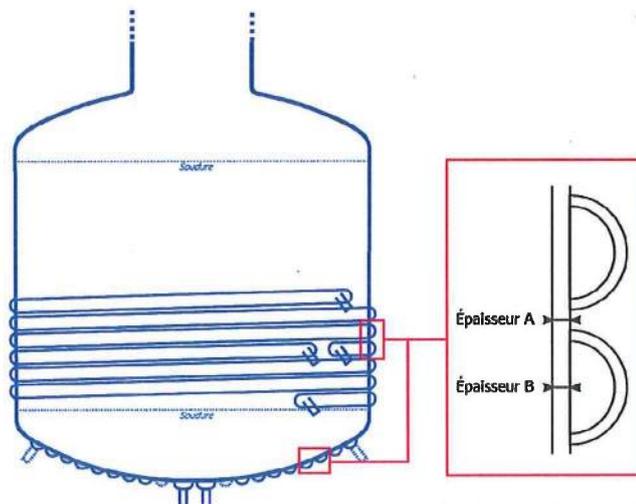


Figure 12 – Principe de la comparaison des vitesses de corrosion sur la paroi et le fond du bouilleur sous la DE d'une spire (Épaisseur B), et celles au niveau de l'interspire du dessus (Épaisseur A)

Les données disponibles montrent les résultats suivants :

- **Pour les évaporateurs de l'atelier R2 :**

Des mesures d'épaisseurs ont été effectuées au niveau des interspires et au niveau de certaines entrées et sorties d'EF du fond GRC. La Figure 13 présente les valeurs issues des mesures pour les trois évaporateurs de l'atelier R2. Il est constaté une faible différence entre ces zones. Cette faible différence est expliquée par la présence d'un encrassement dans le fond des évaporateurs de l'atelier R2, qui a pour conséquence d'augmenter et d'homogénéiser la température de paroi. Le facteur F1 est évalué à la valeur de F1 = [REDACTED]

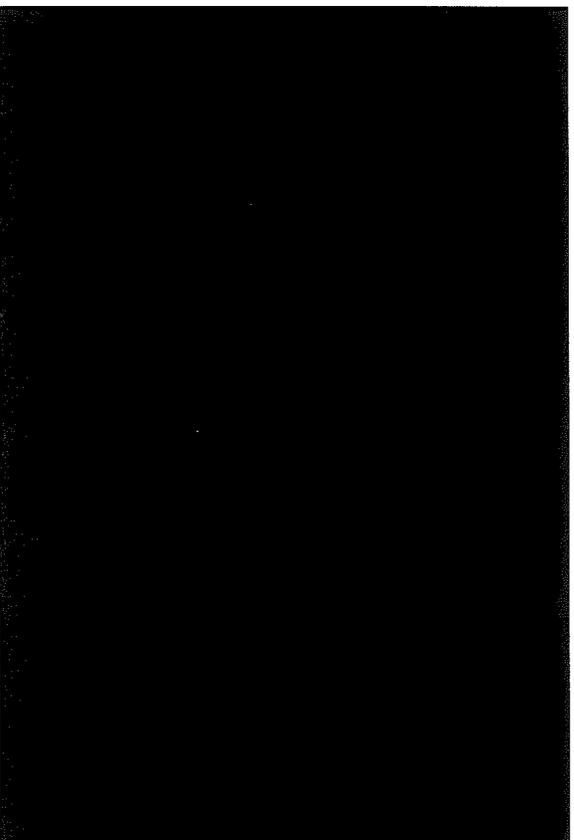


Figure 13 - Épaisseurs résiduelles mesurées sur les évaporateurs CPF de l'atelier R2 au niveau des interspires du fond (de D1 à D6, de H/16 à H/21) en Août/Sept. 2014

- **Pour les évaporateurs de l'atelier T2 :**

Des mesures d'épaisseurs ont été réalisées sous DE de la paroi verticale de l'évaporateur 4120-23 (avec une sonde multi élément), en interspire sur la paroi verticale et sur le fond GRC. L'analyse de ces mesures conduit à la détermination un facteur F1 = [REDACTED] dans le cas des évaporateurs de l'atelier T2 [23]

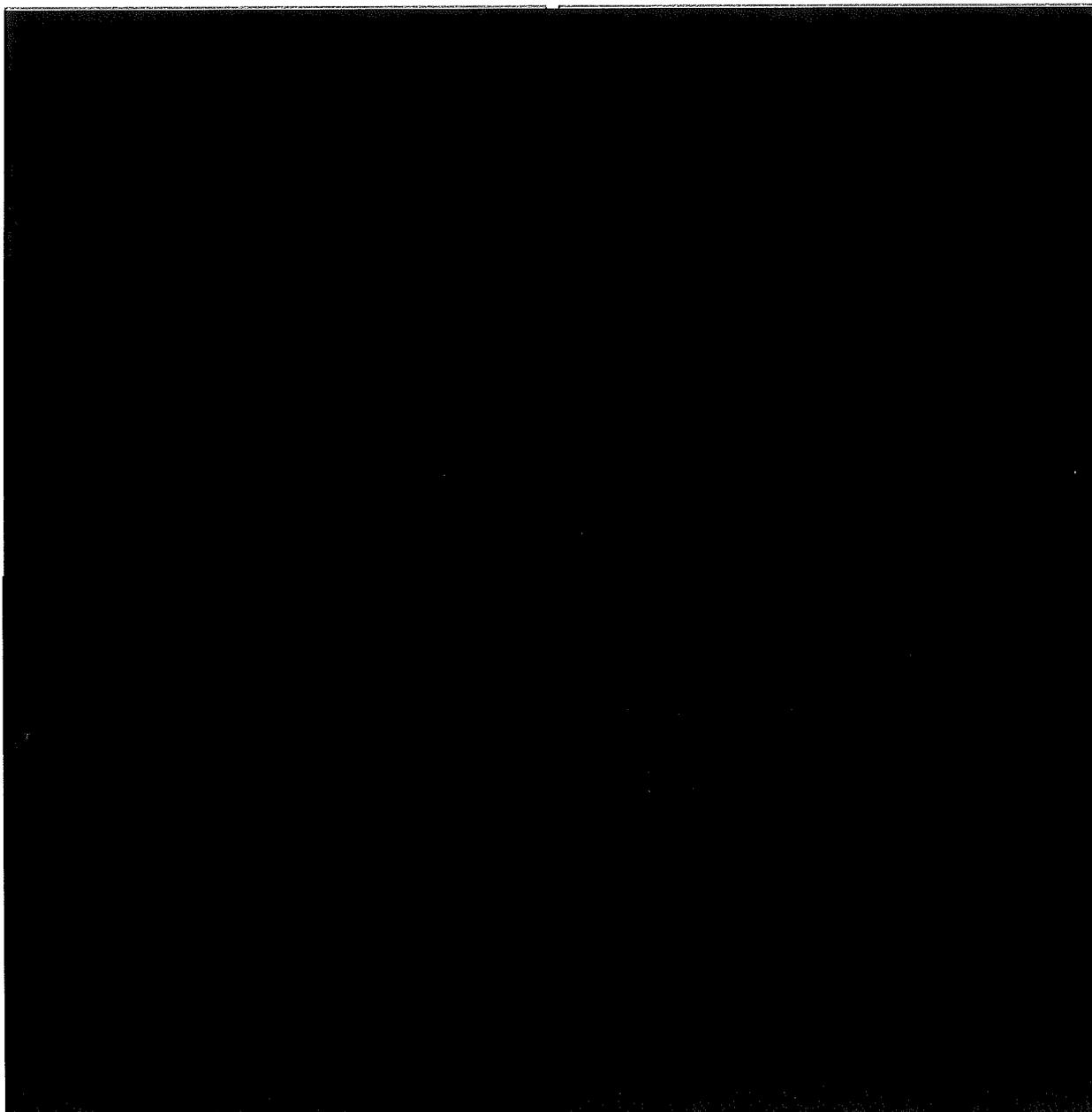
### 9.3.2.1.3.3 Évaporateurs T2 4120-21, -22 et -23 : REX sur la vitesse de corrosion

Pour déterminer les vitesses de corrosion, les différentes étapes de la démarche réalisée ont été les suivantes :

- **l'analyse des paramètres de fonctionnement principaux** : il est constaté que les paramètres acidité, teneur en fer (cf. §9.3.2.3.1) et capacité évaporatoire ont été relativement constants au cours du temps et inférieure aux limites prescrites dans les RGE,
- **l'analyse des résultats de mesures d'épaisseur sur l'ensemble des évaporateurs 4120** : suivant les zones, une ou plusieurs campagnes de contrôles ont pu être réalisées.

Les analyses ne mettent pas en évidence de loi de comportement particulière et la détermination des vitesses de corrosion par régression linéaire est satisfaisante sur l'aspect statistique (cf. Figure 14 à Figure 17). Une légère augmentation ou diminution de la vitesse de corrosion ne peut cependant pas encore être exclue et la pertinence de la linéarité sera réexaminée lors des futures campagnes de mesures d'épaisseurs.

Edition GEIDE du 09/06/2016 - Etat Validé



Le comportement en corrosion a été comparé entre les trois évaporateurs 4120 de l'atelier T2 :

- l'analyse de ces données conduit à considérer une vitesse de corrosion moyenne au cours du temps,
- il a été déterminé une ZIS au niveau de l'arrivée d'eau surchauffée du fond GRC (Tableau 12) pour les trois évaporateurs, et un comportement en corrosion similaire.

### 9.3.2.1.3.4 Conservatismes : calcul de durée de vie et périodicité des contrôles

La durée de vie de l'équipement est pilotée par le phénomène de corrosion. La perte d'épaisseur est d'autant plus importante que la température de la surface de la zone considérée, en contact avec le fluide procédé, est élevée.

Les étapes de la méthodologie de calcul de la durée de vie sont :

- *Hypothèses préliminaires :*
  - les zones soudées présentent des vitesses de corrosion équivalentes à celles des zones de pleine tôle,
  - la vitesse de perte d'épaisseur est considérée constante dans le temps.

- *Détermination de la vitesse de corrosion moyenne au niveau de la zone sensible :*



La zone de mesure pour laquelle l'extrapolation de pertes d'épaisseurs peut être réalisée pour déterminer les pertes d'épaisseurs sur la ZIS désignée comme l'arrivée EF – zone N°1 du Tableau 18 est l'interspire H/16.

La vitesse de corrosion moyenne (sur la durée de vie de l'équipement) de la ZIS (arrivée EF du fond GRC) est déterminée par régression linéaire sur l'intégralité des points de mesure effectués lors des campagnes.

Un facteur F1 = [redacted] est appliqué pour évaluer la vitesse de corrosion sous les DE adjacente à la zone ayant fait l'objet de contrôle d'épaisseur (contre la première spire du fond torisphérique, spire de la sortie d'EF).

$$\langle V_{\text{CORR}}^{\text{Sous 1ère DE}} \rangle = [\text{redacted}] \times \langle V_{\text{CORR}}^{\text{Mesuras 1ère interspire}} \rangle$$

Afin d'estimer la vitesse de corrosion moyenne au niveau de l'entrée EF (Zone Identifiée Sensible - ZIS), un coefficient F2 = [redacted] est appliqué à la vitesse de corrosion moyenne au niveau de la sortie EF pour compenser la baisse de température entre les deux extrémités. Ce facteur n'est nécessaire que si la zone à proximité de l'arrivée d'EF n'est pas accessible.

$$\langle V_{\text{CORR}}^{\text{ZIS}} \rangle = [\text{redacted}] \times \langle V_{\text{CORR}}^{\text{Sous 1ère DE}} \rangle$$

soit :

$$\langle V_{\text{CORR}}^{\text{ZIS}} \rangle = [\text{redacted}] \times \langle V_{\text{CORR}}^{\text{Mesuras 1ère interspire}} \rangle$$

Ces valeurs de facteurs F1 et F2 sont exprimées dans la note [23].

- Détermination de l'épaisseur à une date future "t" :

Dans une zone donnée l'épaisseur à une date future (à t) est déterminée en appliquant la vitesse de corrosion moyenne sur l'épaisseur minimale  $Ep_{Min}^{Zonesensible}(t_0)$  acceptable à l'approvisionnement (à  $t_0$ ) :

$$Ep^{ZIS}(t) = Ep_{Min}^{ZIS}(t_0) - (t - t_0) \times \langle V_{corr}^{ZIS} \rangle$$

- Détermination de la durée minimale de fonctionnement réduite (DMF réduite), avec prise en compte de l'incertitude des mesures :

La durée minimale de fonctionnement (DMF) correspond à la date où l'épaisseur calculée atteint l'épaisseur limite  $Ep_u$  majorée de l'incertitude de mesure  $Inc$  ( $Inc = \text{[blanc]$ ).

$$DMF = t_0 + \frac{Ep_{min}^{ZIS}(t_0) - (Ep_u + Inc)}{\langle V_{corr}^{ZIS} \rangle}$$

#### 9.3.2.1.4 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 [1] aux Equipements Sous Pression Nucléaire » [3], la probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion est considérée comme « **Moyenne** ».

#### 9.3.2.2 Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation

Un suivi en exploitation au niveau de l'évaporateur 4120-22 de T2 des conditions de température et des paramètres physico – chimiques des fluides procédé et caloporteur permet d'encadrer la corrosion.

Les paramètres suivis sont présentés dans le Tableau 19 et intégrés au POES de l'équipement [22].

Identification équipements ou seuil	Type de suivi
Suivi et enregistrement de la température dans l'évaporateur 4120-22 (TE)	Relevé valeur
Surveillance périodique des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité, fer)	Relevé valeur
Suivi et enregistrement de la température du caloporteur (TER de l'échangeur 4160-12). Prescription ARE-LH-EVP-06 Décision [6]	Relevé valeur

Tableau 19 – Paramètres suivis pour encadrer la corrosion

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

En absence de réalisation de visite intérieure, le suivi en exploitation des paramètres physico – chimiques du liquide procédé et de la boucle caloporteur n'est pas suffisant pour avoir un suivi précis de l'évolution de la corrosion.

Néanmoins, 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 20 et intégrées au POES de l'équipement [22].

Exigences opérationnelles	Périodicité
Mesures d'épaisseur en paroi du bouilleur (la zone prioritaire retenue est l'interspire H16 proche de l'entrée d'EF défini comme la ZIS)	15 mois (*)
Mesures d'épaisseur en paroi du bouilleur sur la totalité des zones accessibles	24 mois
Bilan du suivi des températures et pression du caloporteur du caloporteur	12 mois
Bilan du suivi des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité, fer)	12 mois

Tableau 20 – Dispositions particulières mises en œuvre pour encadrer la corrosion

(\*) Les mesures sont effectuées une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux contrôles successifs.

Les dispositions particulières relevant de l'exploitation sont présentées ci-dessous et précisées dans le DEX de l'équipement :

- Bilan annuel des analyses physico-chimiques du liquide procédé,
- Surveillance de la concentration de  $[H^+]$  et  $[Fe]$ .

Les programmes d'analyses et bilans physico-chimiques permettent de vérifier que les conditions d'utilisation du matériau sont bien respectées. Le domaine d'acidité de la solution et la concentration des ions gênants ou oxydants sont bien vérifiés. La température est également un facteur important pour la corrosion mais celle-ci est déjà suivie (voir § 9.3.2.2). La connaissance de ces paramètres de fonctionnement va permettre de mieux appréhender ce mode de dégradation.

Les mesures d'épaisseur sont explicitées au § 9.2.3. Celles-ci permettent de connaître l'état de corrosion de l'équipement. La vitesse de corrosion réelle pourra alors être calculée, ce qui permettra de mieux maîtriser ce mode de dégradation.

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

### 9.3.2.3.1 Historique des paramètres de fonctionnement

L'historique des paramètres surveillés pertinent dans l'analyse du phénomène de corrosion (acidité, température, teneur en fer) de l'évaporateur 4120-22 de T2 est présenté ci-dessous :

- Le suivi de l'acidité (Figure ci-dessous) montre que celle-ci se situe entre les deux bornes prévues lors du dimensionnement. De légers dépassements ponctuels n'ont pas d'impact significatif sur le comportement en corrosion de l'évaporateur.



Figure 18 – Acidité dans l'évaporateur 4120-22 de T2 en fin de cycle de concentration en mol/L

- Le suivi de la température de l'eau surchauffée utilisée pour chauffer l'évaporateur 4120-22 (Figure 19) montre une température moyenne en fonctionnement de [REDACTED] une valeur maximale à [REDACTED] avec globalement des valeurs ne dépassant pas [REDACTED]. La température maximale de dimensionnement de [REDACTED] n'a jamais été atteinte.

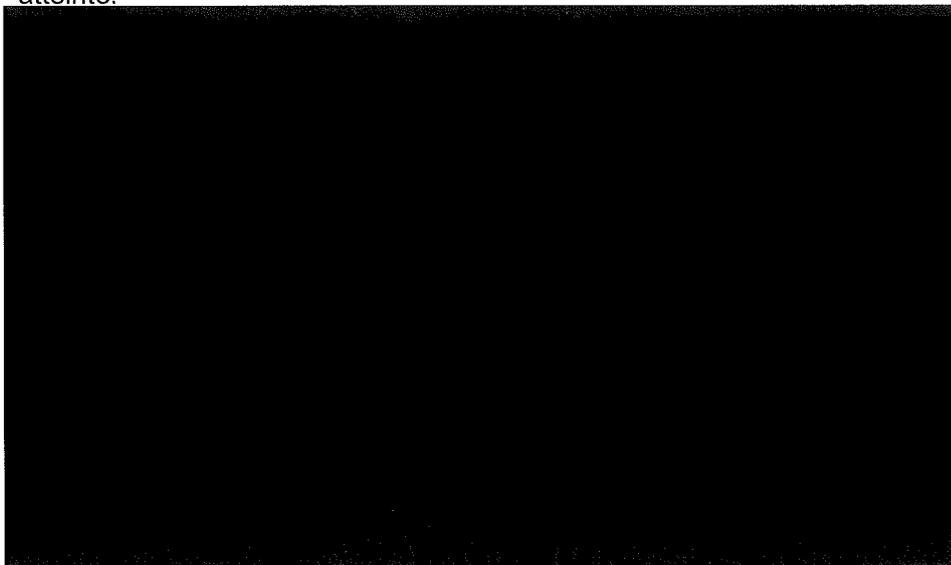


Figure 19 - Mesures mensuelles de la température de l'EF de l'évaporateur T2 4120-22

- Le suivi de la concentration en fer montre une constance au cours du temps pour les trois évaporateurs 4120 de l'atelier T2, avec des valeurs globalement inférieures à [REDACTED] et une valeur moyenne inférieure à [REDACTED] depuis [REDACTED]. Les valeurs observées en exploitation sont comprises dans le domaine d'utilisation de [REDACTED] prévu à la conception. Le suivi en fer tend à indiquer qu'il n'y a pas d'augmentation de la vitesse de corrosion au cours du temps.

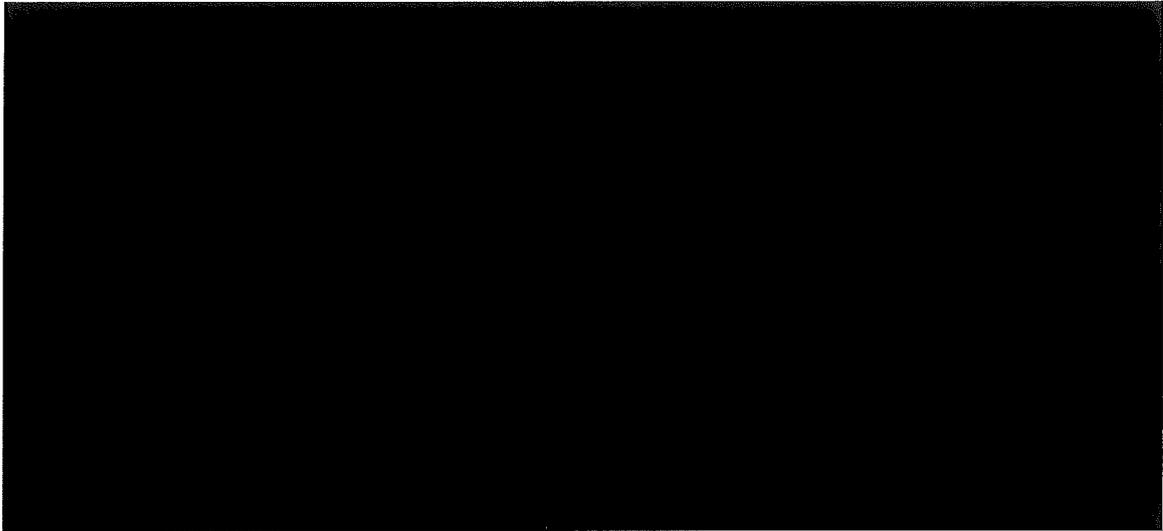


Figure 20 – Concentration en Fer en g/L sur la période 1990 - 2013 dans les évaporateurs 4120 de l'atelier T2 en fin de cycle de concentration

#### 9.3.2.3.2 Adéquation des inspections aux dégradations

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 § 9.3.2.1.4) : **Moyenne**
  - Niveau de maîtrise des conditions d'exploitation (voir § 9.3.2.2) : **Maitrisées**
  - Adéquation des inspections aux dégradations (voir § 9.3.2.3.2) : **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

Tableau 21 – Matrice de niveau du facteur corrosion

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

- Corrosion : **Niveau 3.**

### 9.3.3 Fatigue

#### 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.

Lors de sa conception, une note calcul à la fatigue [16] a été réalisée. Le dimensionnement de l'équipement prend donc en compte ce mode de dégradation.

Une nouvelle note de calcul à la fatigue a été effectuée [17]. Cette note prend en compte les différentes évolutions du code de dimensionnement (CODAP 2010), ainsi que les valeurs de fonctionnement réelles en pression et température.

Cette note prend en compte les différentes évolutions du code de dimensionnement (CODAP 2010), ainsi que les valeurs de fonctionnement réelles en pression et température.

Les résultats de ces calculs attestent du bon dimensionnement de l'équipement au mode de dégradation considéré.

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 de l'évaporateur 4120-22 de T2 des paramètres pression / température de l'équipement permet d'encadrer ce mode de dégradation.

Les paramètres suivis sont présentés dans le Tableau 22 et intégrés au POES de l'équipement [22].

Identification équipements ou seuil	Type de suivi
Suivi et enregistrement de la température dans l'évaporateur 4120-22 (TE)	Relevé valeur
Suivi et enregistrement de la température du caloporteur (TER)	Relevé valeur
Suivi et enregistrement de la pression du vase d'expansion 4160-32 (PER). Prescription ARE-LH-EVP-06 Décision [6]	Relevé valeur

Tableau 22 – Paramètres suivis pour encadrer la fatigue

Dans le cadre de l'étude sur la Maîtrise de la Durée de Vie, un historique des cycles thermique et pression a été constitué [21].

L'exploitation de cet historique permet de conforter les marges restantes pour l'exploitation de l'évaporateur 4120 – 22 de l'atelier T2 (voir § 9.2.4).

L'analyse des cycles faite au travers de l'étude sur la Maîtrise 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 « **Maîtrisées** ».

### 9.3.3.3 Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations

D'après le §2.2.3 du courrier [3], *"La mesure d'un paramètre de fonctionnement qui serait le révélateur direct d'une dégradation peut être considéré comme une inspection au sens précédent. Elle peut donc être adéquate pour le mode de dégradation considéré, sous réserve que la performance soit justifiée et sa fréquence adaptée à la cinétique de ce mode de dégradation"*.

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

De ce fait, aucun moyen d'inspection n'est disponible pour l'inspection de la fatigue de l'équipement, seul un suivi en exploitation des paramètres pression / température ainsi que l'analyse de ses paramètres permettent de suivre la durée de vie de l'équipement par rapport à ses données de dimensionnement pour lesquelles il a été conçu.

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 [1] aux Equipements Sous Pression Nucléaire » [3], l'adéquation des inspections à ce type de dégradation est évaluée comme étant « **Absente** ».

#### 9.3.3.3.1 Ré évaluation de l'adéquation des inspections liées à la fatigue

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

Ces dispositions particulières sont présentées dans le Tableau 23 et intégrées au POES de l'équipement [22].

Exigences opérationnelles	Périodicité
Analyse du bilan annuel des cycles réels en pression et en température	12 mois

Tableau 23 – Dispositions particulières mises en œuvre pour encadrer la fatigue

Les conditions de température et de pression sont déjà suivies et analysées (voir § 9.3.3.2). Le suivi et le bilan annuel des cycles thermique et pression va permettre de connaître les marges restantes pour l'exploitation de l'équipement.

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

Ces dispositions particulières permettent d'abaisser le critère de l'adéquation des inspections de « Absente » à « 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 § 9.3.3.3.1) : **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

Tableau 24 – 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 l'évaporateur 4120-22 de T2, on a :

- Corrosion (voir § 9.3.2.4) : **Niveau 3.**
- Fatigue (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 3.**

## 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-dessus.

Les niveaux des facteurs étudiés sont :

- Facteur Fabrication (voir § 9.1.5) : **Niveau 1.**
- Facteur Etat (voir § 9.2.5) : **Niveau 2.**
- Facteur Dégradation (voir § 9.3.4) : **Niveau 3.**

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

## 10 ÉVALUATION DES CONSEQUENCES DE LA DEFAILLANCE DE L'ESPN

Les conséquences de la défaillance de l'évaporateur 4120-22 de T2 sur les intérêts protégés mentionnés à l'article L.593-1 du Code de l'Environnement sont évaluées dans l'analyse de sûreté référencée [5].

Pour mémoire, les intérêts protégés sont :

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

### 10.1 RETOUR D'EXPERIENCE (REX)

Ce paragraphe est destiné à établir le REX à prendre en compte pour chaque ESPN de La Hague. Le REX significatif sur un équipement similaire à l'évaporateur de produit de fission T2 4120 - 22 concerne l'évaporateur 6314 - 30 de l'atelier R7 (déclaration de l'événement suivant lettre HAG 0 0290 11 20342 du 11 février 2011).

#### 10.1.1 Détection de l'évènement

Le seuil d'alarme associé au pot de comptage présent sur la boucle caloporteur de l'ESPN a permis d'identifier une contamination de la boucle caloporteur assurant la chauffe et le refroidissement de la partie bouilleur de l'évaporateur 6314-30 de l'atelier R7.

Par la suite, les prises d'échantillon ont pu mettre en évidence un niveau très faible de contamination (activité volumique de l'ordre de [REDACTED] cette valeur corrélée par le pot de comptage en ligne, a fait l'objet d'un suivi afin de constater son évolution.

Une baisse anormalement rapide du niveau du pressuriseur maintenant sous pression la boucle caloporteur, identifiée par l'opérateur grâce aux sollicitations récurrentes du système d'appoint en eau de la boucle caloporteur, a conforté le diagnostic de fuite.

De même, une élévation anormale de niveau dans la cuve de l'évaporateur 6314-30 a pu être constatée, malgré l'isolement de toutes les arrivées liquides dans cet équipement.

L'ensemble de ces éléments a permis d'identifier avec certitude une fuite au niveau d'un des serpentins de chauffe et de refroidissement.

Il est noté que la contamination du circuit caloporteur a eu lieu alors même que celui-ci se trouve être en surpression au regard de la pression du compartiment actif de l'équipement (rétrodiffusion de la contamination).

### 10.1.2 Conséquences de l'évènement

Tout au long de la période de surveillance de l'équipement (10 décembre 2010 au 05 février 2011), une faible élévation de la contamination du circuit a été détectée, sans que les niveaux d'irradiation dans les salles des zones contrôlées traversées par les tuyauteries ne présentent un risque.

## 10.2 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE L'ESPN

### Classement de l'ESPN

L'évaporateur de concentration de Produits de Fission 4120-22 de l'Atelier T2 est un ESPN de niveau N2 et de catégorie IV. Le classement retenu est justifié dans l'analyse de sûreté dite de justification en niveau et en classement de l'ESPN relevant des annexes 5 et 6 de l'arrêté de référence [2].

Les autres caractéristiques techniques de l'ESPN sont décrites aux paragraphes § 0 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 UP3-A.

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 procédé 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 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.

### 10.3 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 scénarios du document en référence [5].

### 10.4 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 en référence [5].

Les deux scénarios jugés les plus crédibles du fait du REX observé sur le site AREVA La Hague n'entraînent pas d'impact sur le personnel, le public ou l'environnement

Seuls les scénarios hautement pénalisants de perte totale de confinement de l'évaporateur, soit la dispersion instantanée de [REDACTED] de solution de Produits de Fission dans la cellule, conduisent à un impact au-delà de l'impact annuel induit par les rejets nominaux.

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

## 11 PERIMETRE DE LA DEMANDE D'AMENAGEMENT D'APPLICATION DU TITRE III POUR LE SUIVI EN SERVICE

Dans l'impossibilité d'effectuer la totalité des gestes réglementaires requis par les annexes 5 et 6 de l'arrêté ESPN (inspection visuelle externe partielle), les dispositions particulières envisagées, objet d'une demande d'aménagement, en application de l'article 3 de l'arrêté 99.1046 du 13/12/99 [1], sont explicités dans les tableaux ci-dessous avec leur périodicité et modalité respectives de mise en œuvre.

L'analyse de l'équivalence du niveau de sécurité par rapport à celui qui serait établi par application des mesures réglementaires ESPN ne peut être réalisée sur la base d'une méthode générique telle que la méthode de cotation en annexe du courrier du groupe inter-exploitant [28]. En effet, le niveau de sécurité retenu pour l'ESPN 4120-22 de l'atelier T2 étant le **Niveau 3 « Risque de défaillance fort »**.

Pour ces raisons, et au-delà de la requalification réglementaire positionnée tous les 48 mois, il est mis en œuvre **un plan de surveillance renforcé**.

Par application de la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire [6].

- AREVA tient à jour et met à disposition de l'ASN, un bilan qui présente les résultats et conclusions des exercices, examens, dispositions ou actions mentionnés dans les prescriptions [ARE-LH-EVP-05], [ARE-LH-EVP-11], [ARE-LH-EVP-12], [ARE-LH-EVP-13], [ARE-LH-EVP-16] et [ARE-LH-EVP-17] de la décision [6]. Ce document doit dresser un bilan pour les deux usines est transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire semestriellement
- L'exploitant contrôle, au moins tous les deux ans, l'épaisseur des parois des évaporateurs PF au niveau de la totalité des zones accessibles à la mesure, et augmente, en tant que de besoin, cette fréquence au vu des résultats des contrôles. Le premier contrôle sera réalisé durant l'année 2016.
- L'exploitant contrôle une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux contrôles, l'épaisseur des parois des évaporateurs PF au niveau des zones sensibles identifiées et de la partie basse du bouilleur, et augmente, en tant que de besoin, cette fréquence au vu des résultats des contrôles.
- L'exploitant fait procéder annuellement sur chacun des évaporateurs PF à une épreuve hydraulique du circuit caloporteur de chauffe ;
- L'exploitant met en œuvre avant fin décembre 2016, sur tous les évaporateurs PF, les dispositions compensatoires suivantes :
  - la pression de fonctionnement de l'eau surchauffée des circuits caloporteurs ne dépasse pas [REDACTED] bars,
  - la température de l'eau surchauffée des circuits caloporteurs ne dépasse pas [REDACTED] pour l'atelier T2.
  - la complexation des ions fluorures libres en solution est mise en place lors de la concentration de raffinats du premier cycle d'extraction issus du traitement de solution de rinçage pouvant ne pas contenir suffisamment de complexant.
  - les rinçages basiques des évaporateurs PF sont réalisés une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux rinçages.

Inspection réglementaire			Faisabilité (oui/non/ partielle)
Type de suivi	Réglementation	Périodicité	
Inspection périodique	Vérification intérieure et extérieure de l'équipement Arrêté [1] - Annexe 5 - §3	40 mois [1]	Non (visuelle externe < 20% de la surface de l'ESPN)
Requalification périodique	Vérification de l'adéquation documentaire Arrêté [1] - Annexe 6 - §2	60 mois [1]	Oui
	Vérification intérieure et extérieure de l'équipement Arrêté [1] - Annexe 6 - §2	60 mois [1]	Non (visuelle externe < 20% de la surface de l'ESPN)
	Epreuve Hydraulique Arrêté [1] - Annexe 6 - §2	60 mois [1]	Oui

Tableau 25 - Faisabilité des dispositions réglementaires sur l'équipement 4120-22 de T2

Dispositions particulières		Périodicité proposée
Gestes compensatoires	- Mesure d'épaisseur par ultrasons sur l'équipement au niveau de la ZIS* - Analyse des mesures d'épaisseur	15 mois * [22]
	- Mesure d'épaisseur par ultrasons sur le bouilleur sur l'ensemble des parties accessibles - Analyse des mesures d'épaisseur	24 mois [22]
	Analyse du bilan du suivi des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité, fer)	12 mois [22]
	Analyse du bilan du suivi des températures du caloporteur et du fluide procédé	12 mois [22]
	- Bilan des cycles thermiques et pression	12 mois [22]
	- Epreuve hydraulique en présence d'un organisme habilité	12 mois [22]
Requalification périodique	- Vérification de l'adéquation documentaire Arrêté [1] - Annexe 6 - §2	60 mois [22]
	- Mesure d'épaisseur par ultrasons sur l'équipement - Analyse des mesures d'épaisseur	60 mois [22]
	Epreuve Hydraulique Arrêté [1] - Annexe 6 - §2	60 mois [22]

Tableau 26 - Dispositions complémentaires en nature et/ou en périodicité proposé sur l'équipement 4120-22 de T2

\* La Localisation de la ZIS sera à réévaluer à chaque campagne de mesures d'épaisseurs

\*\* Les mesures sont effectuées une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux contrôles successifs.

Remarque :

- Le compartiment nucléaire étant en dépression, aucune épreuve hydraulique n'est réalisée sur ce compartiment.
- A l'issue des Opérations de requalification périodique, un procès-verbal est rédigé et signé par un représentant d'un organisme habilité par l'ASN.
  - 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. Ce procès-verbal ainsi que les documents associés sont intégrés au Dossier d'Exploitation (DEX) de l'équipement
- les gestes présentés ci-dessus appartiennent exclusivement au périmètre ESPN. Les gestes réalisés dans le cadre de la réglementation ESP (boucle caloporteur) sont par ailleurs maintenus.

## SOMMAIRE

1	OBJET DU DOCUMENT ET CHAMP D'APPLICATION.....	1
2	OBJET DE LA REVISION .....	1
3	SIGLES ET ABREVIATIONS.....	2
4	DOCUMENTS DE REFERENCE .....	2
5	DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE L'EVAPORATEUR ESPN.....	4
5.1	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT .....	4
5.2	CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT PROCEDE .....	7
5.3	CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT CALOPORTEUR .....	7
6	CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES .....	8
7	EXIGENCES REGLEMENTAIRES.....	10
7.1	APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION .....	10
7.2	APPLICABLES A L'ESPN .....	10
7.2.1	Classement de l'équipement.....	10
7.2.2	Inspection périodique.....	11
7.2.3	Requalification périodique.....	11
8	OBSTACLES A LA MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS REGLEMENTAIRES .....	12
8.1	ENVIRONNEMENT DE L'ESPN .....	12
8.2	ACCESSIBILITE A L'EQUIPEMENT.....	14
8.3	EXAMEN VISUEL 16	
8.4	MISE EN PRESSION (EPREUVE HYDRAULIQUE) .....	16
8.4.1	Compartiment nucléaire.....	16
8.4.2	Compartiment sous pression .....	16
8.5	PERIMETRE DE LA DEMANDE DE DISPOSITIONS PARTICULIERES .....	16
9	ESTIMATION DE LA PROBABILITE DE LA DEFAILLANCE .....	17
9.1	DETERMINATION DU FACTEUR FABRICATION .....	17
9.1.1	Dossier descriptif .....	17
9.1.2	Matériau 18	
9.1.3	Note de calcul statique.....	18
9.1.4	Note de calcul en fatigue .....	24
9.1.5	Niveau du facteur de fabrication de l'équipement.....	31
9.2	DETERMINATION DU FACTEUR ETAT .....	31

9.2.1 Modes de dégradation .....	32
9.2.2 Examen visuel.....	32
9.2.3 Mesures d'épaisseur .....	33
9.2.4 Suivi de l'historique de fonctionnement .....	38
9.3 DETERMINATION DU FACTEUR DEGRADATION.....	39
9.3.1 Sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles .....	40
9.3.2 Corrosion.....	43
9.3.3 Fatigue	54
9.3.4 Facteur Global de dégradation de sécurité de l'équipement.....	56
9.4 DETERMINATION DU NIVEAU DE SECURITE DE L'ESPN.....	57
10 ÉVALUATION DES CONSEQUENCES DE LA DEFAILLANCE DE L'ESPN .....	57
10.1 RETOUR D'EXPERIENCE (REX).....	57
10.1.1 Détection de l'évènement .....	57
10.1.2 Conséquences de l'évènement.....	58
10.2 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE L'ESPN .....	58
10.3 CONSEQUENCES SUR LE PERSONNEL.....	59
10.4 CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT.....	59
11 PERIMETRE DE LA DEMANDE D'AMENAGEMENT D'APPLICATION DU TITRE III POUR LE SUIVI EN SERVICE.....	59