

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
4120-21 DE L'ATELIER T2 (CPAT3)**

*Le 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.

B. SAZABERD



Edition GEIDE du 07/01/2016 - Etat Validé

Signataires :			
	Nom	Entité	Visa
Rédacteur	[REDACTED]	[REDACTED]	08/10/2015
Vérificateur	[REDACTED]	[REDACTED]	08/10/2015
Vérificateur	[REDACTED]	[REDACTED]	08/10/2015
Approbateur	[REDACTED]	[REDACTED]	11/10/2015

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 – 21 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].

3 SIGLES ET ABBREVIATIONS

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
PG	Performance Globale
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 0001 J : Justification du classement de l'évaporateur 4120 – 21 de l'atelier T2 en « ESPN de Niveau 2 » selon l'arrêté ESPN du 12 décembre 2005
- [6] Décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux
- [7] 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 2015-59474 Rapport d'inspection contrôle visuel de l'évaporateur PF 4120-21 de l'atelier T2
- [12] NT 100807 12 0001 B : Dossier Descriptif de l'évaporateur 4120 – 21 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 0148 : Spécification technique de contrôle non destructif – Evaporateur de Concentration des Produits de Fission T2 4120-21
- [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] 2015-45577 : Note de justification : calculs en fatigue des ESPN
- [22] 2013 - 29920 : Programme des Opérations d'Entretien et de Surveillance (POES) – Evaporateur 4120 – 21 de l'Atelier T2
- [23] Courrier COR ARV 3SE INS 13-003 : Guide inter-exploitant des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 aux équipements relevant des annexes 5 et 6 de l'arrêté du 12 décembre 2005
- [24] NT 100807 00 0017 D : Inventaire des équipements ESPN du site AREVA NC de La Hague
- [25] 2015-7139 : Note de synthèse corrosion des évaporateurs 4120 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 (■ L),
 - une demi-coquille latérale inférieure (■ L),
 - deux demi-coquilles en fond de bouilleur (2 x ■ L).

Evaporateur 4120-21 atelier T2

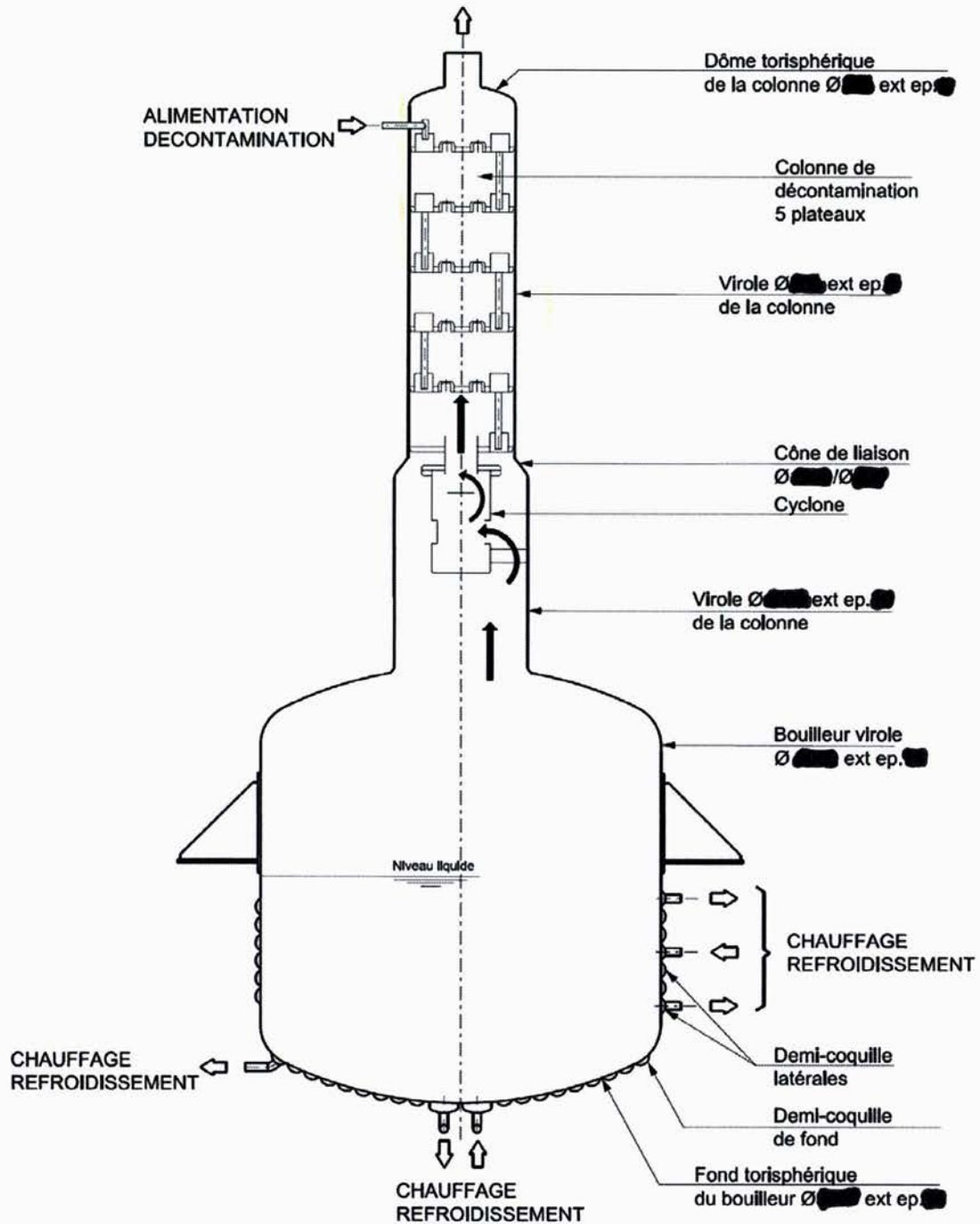


Figure 1 - Schéma descriptif de l'évaporateur 4120 - 21 de l'atelier T2

Edition GEIDE du 07/01/2016 - Etat Validé

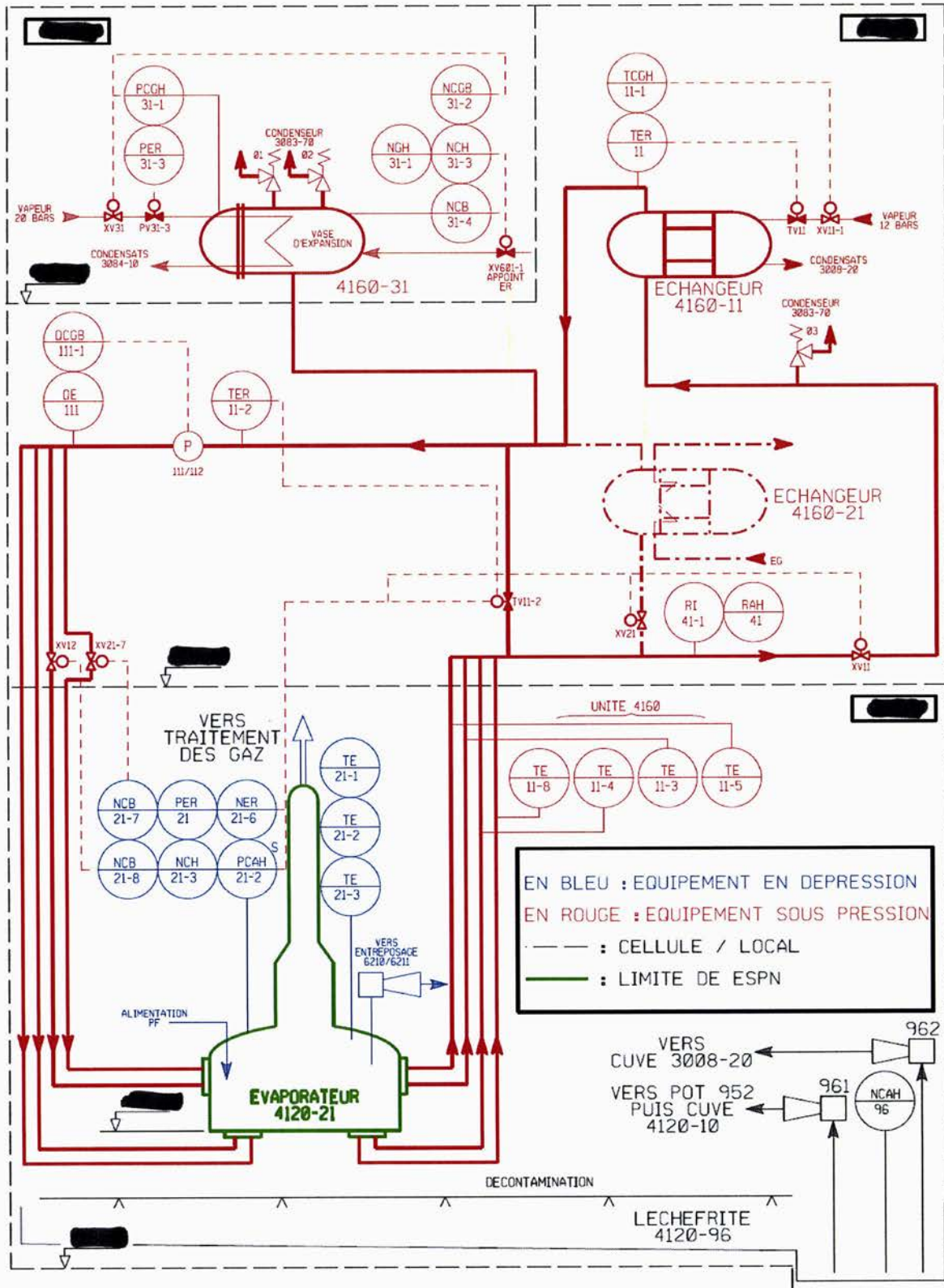


Figure 2 - Schéma de principe de l'évaporateur 4120- 21 et son circuit caloporteur 4160

5.2 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT PROCÉDÉ

Données	Unité(s)	Compartiment procédé
Fluide		Concentrats PF
Masse Volumique	kg.m ⁻³	1300
Pression Normale de service	bar relatif	- 0,02
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 ⁻³	1000 / 897
Pression Maximale Admissible (PS)	bar relatif	██
Température Maximale Admissible	°C	██
Volume Boucle	m ³	2,4
Volume Utile ½ Coquilles	L	258
Volume ½ coquille latérale supérieure	L	██
Volume ½ coquille latérale inférieure	L	██
Volume ½ coquilles fond du bouilleur	L	2 x ██

6 CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES

L'évaporateur 21 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 4120-21 sont les suivantes :

- hauteur totale : █████ mm,
- hauteur de la colonne : █████ mm,

- hauteur du bouilleur : [REDACTED] mm,
- diamètre intérieur du bouilleur : [REDACTED] mm,
- diamètre intérieur de la colonne : [REDACTED] mm (réduction) / [REDACTED] mm (colonne),
- volume utile : [REDACTED] m³,
- volume total : [REDACTED] m³.

Le matériau constitutif de l'évaporateur 4120-21 est l'[REDACTED] (Désignation Creusot Loire Industrie), de désignation normée [REDACTED] selon AFNOR.

Les épaisseurs nominales de fabrication des différents composants pour l'évaporateur 4120-21 de T2 sont (Figure 3) :

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

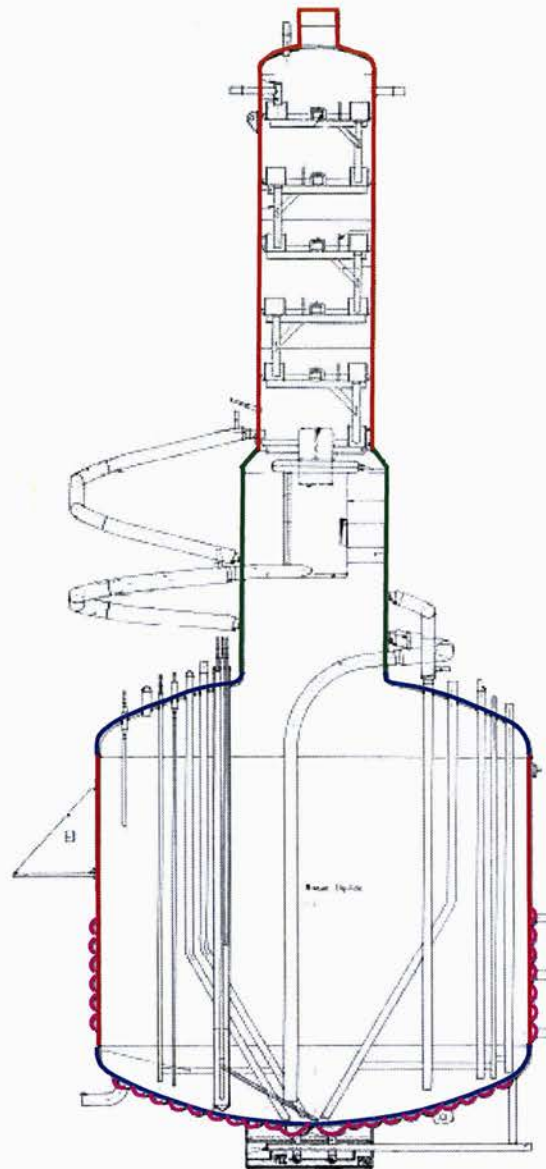


Figure 3 - Epaisseurs nominales de fabrication des tôles de l'évaporateur

7 EXIGENCES REGLEMENTAIRES

7.1 APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION

L'équipement bien que non soumis au décret du 2 avril 1926 [6] « portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux » a respecté les exigences de ce décret tant pour sa conception, sa fabrication que pour sa mise en service.

L'évaporateur 4120 – 21 a été conçu, fabriqué (épreuve initiale le 22/01/86 à 24 bar – Voir DER 1302 12 002 203 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 4120-21 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 4120-21 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 4120-21 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 4120-21 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-compartmenté, 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 4120-21 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 4120-21 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 4120-21 est situé dans une cellule en zone inaccessible au personnel (██████) 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 ██████ est de :

- voile Ouest : ██████ m,
- voile Est : ██████ m,
- voile Nord : ██████ m,
- voile Sud : ██████ m.

Edition GEIDE du 07/01/2016 - Etat Validé

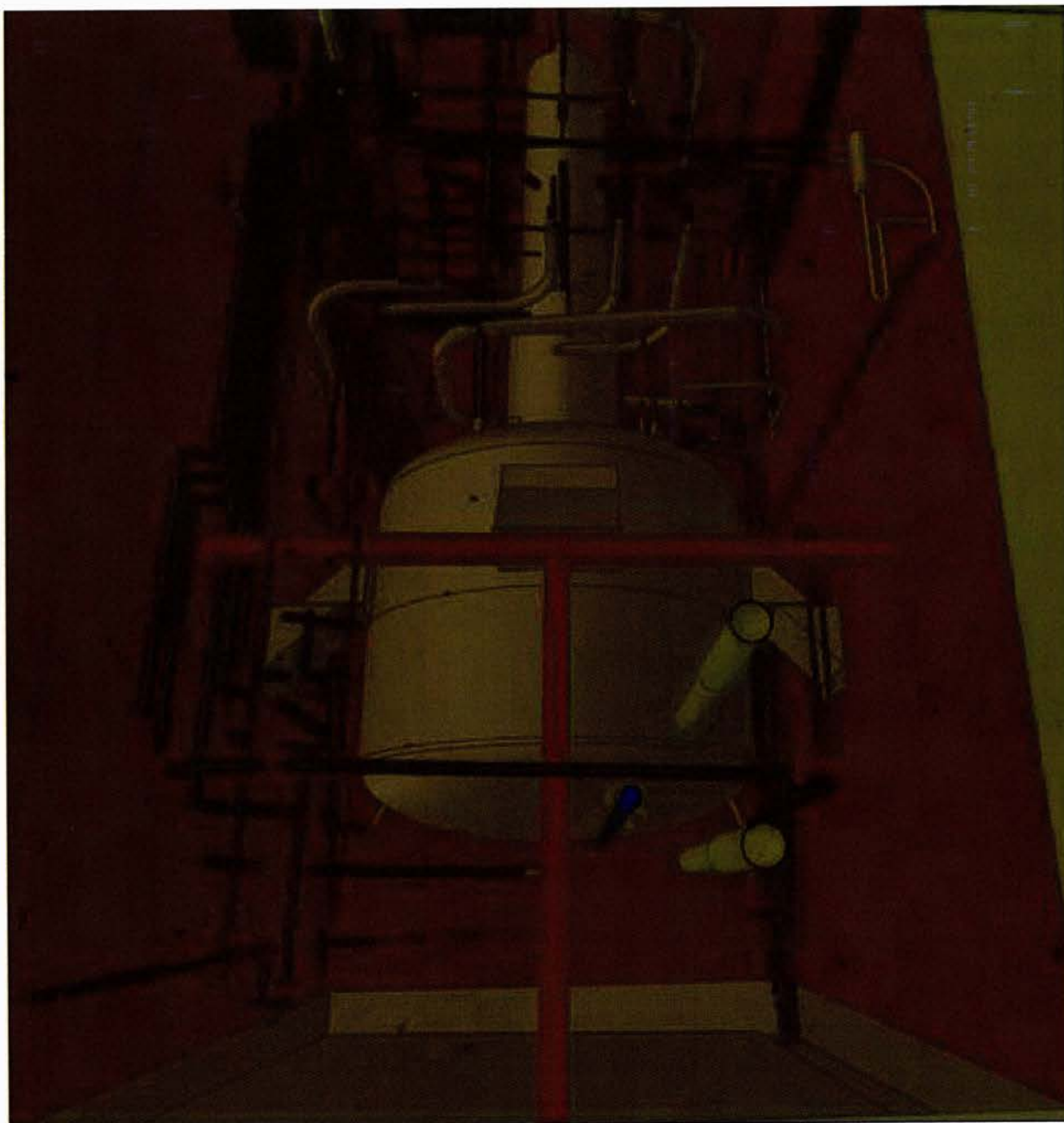


Figure 4 – Vue 3D de l'évaporateur 4120-21 de T2 [REDACTED]

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 212-4 et la zone 3 adjacente (local 248-3).

Edition GEIDE du 07/01/2016 - Etat Validé

Macquie

Traversées d'endoscope
D100 sup. et inf.

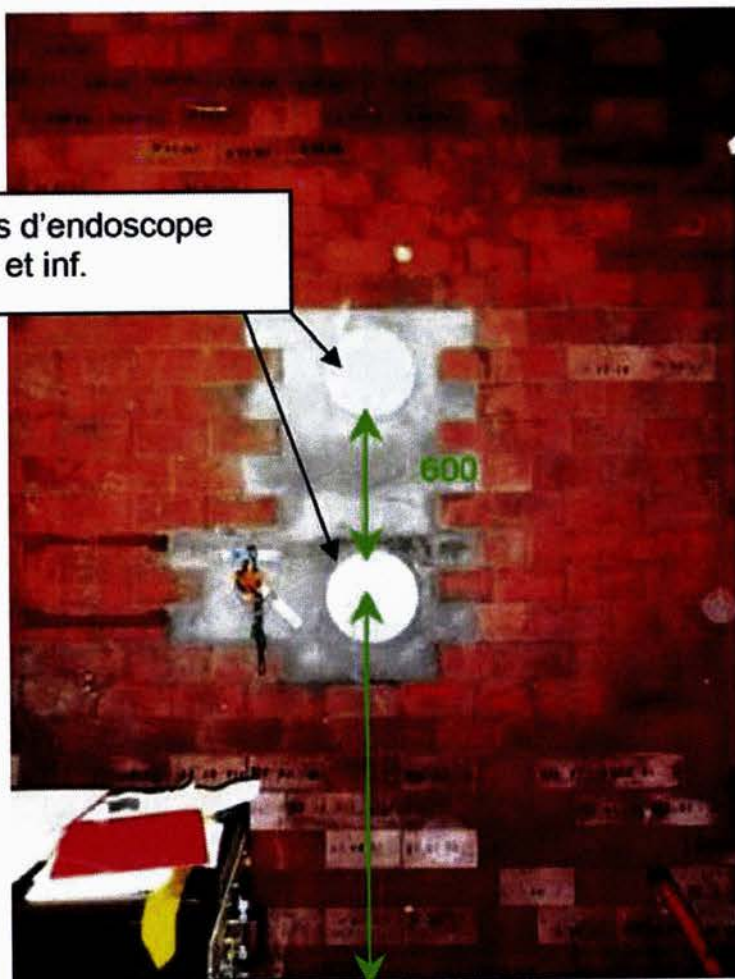


Figure 6 – Fourreaux d'endoscope

L'implantation de l'évaporateur de concentration de produits de fission 4120 – 21 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 4120-21 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 4120-21 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 est en cours à la date d'envoi du CPAT3. La faisabilité du geste est acquise par les modifications des lignes EF déjà réalisées et au vu du REX sur les équipements 4120-22 de T2 et 4120-21 de R2.

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

Edition GEIDE du 07/01/2016 - Etat Validé

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] comprenant tous les documents qui attestent de sa conformité.

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 l'██████████.

Successivement dénommé ██████████, le choix de ██████████ a été effectué suite à sa mise au point par le CEA et Creusot Loire entre 1962 et 1983.

██████████ a été développé spécifiquement pour des applications en milieu nitrique de faible acidité (jusqu'à 0,1N) contenant des ions oxydants et/ou des ions ferriques (Fe III).

Concernant les soudures, deux nuances de métal d'apport ont été utilisées : ██████████ pour les premières passes du côté du compartiment procédé, ██████████ pour les passes de remplissage du côté externe. L'épaisseur de ██████████. 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 l'Uranus S1N 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 T2-4120-21, des notes de calcul statiques ont été réalisées :

- Note de calcul partie chaudronnerie [13],
- 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) + Majoration du taux de travail du métal à la pression d'épreuve (Rt/4).

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

- o 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 :	█ °C	█ °C
Pression intérieure max :	█ bar	█ bars
Pression intérieure min :	█ bar	
Hauteur de liquide :	█ mm	-
Densité de service :	█ 1,3	1

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 :	█ °C	█ °C
Pression d'épreuve cuve :	█ bar	█ bar
Densité d'épreuve :	1	1

Tableau 2 – Situation d'épreuve du corps

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	█ °C	█ °C
Pression d'épreuve cuve :	█ bar	█ bar
Densité d'épreuve :	1	1

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 :	█ °C	█ °C
Pression intérieure max :	█ bar	█ bars
Pression intérieure min :	█ bar	
Hauteur de liquide :	█ mm	-
Densité de service :	1	1

Tableau 4 – Situation de ré-épreuve

- Le matériau :

L'évaporateur est réalisé en █.

Masqué

- Contraintes admissibles :

- Conditions normales :

$$f = \min\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1.2}; \frac{R_m^t}{3}\right)$$

- Conditions exceptionnelles :

$$f = \min\left(0,95 \times R_{p1,0}^t; \frac{R_m^t}{2}\right)$$

Avec :

- $R_{p1,0}^t$: valeur minimale garantie de la limite conventionnelle d'élasticité à 1 % à la température de calcul.
- R_m^t : 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 20°C et de calcul à [redacted]°C et [redacted]°C) :

	20°C	[redacted]°C	[redacted]°C
Conditions normales	$f = [redacted]$ MPa	$f = [redacted]$ MPa	$f = [redacted]$ MPa

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

	[redacted]°C
Conditions exceptionnelles	$f = [redacted]$ MPa

Tableau 6 – Contraintes admissibles

- les hypothèses de modélisation :

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



Figure 7 – Vue du modèle de calcul

- 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	█	(**)	█ mm
Virole bouilleur (au niveau des ½ coquilles)	█ (*)	█ (*)	█ mm
Fond torisphérique supérieur bouilleur	█	(**)	█ mm
Colonne (Ø 1000)	█	(**)	█ mm
Cône (***)	█	(**)	█ mm
Colonne (Ø 800)	█	(**)	█ mm
Fond GRC	█	(**)	█ mm
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 permet de valider l'épaisseur minimale nécessaire du cône à █ mm.

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 4120-21 de T2 :

- L'épaisseur limite retenue pour la tenue à la pression du bouilleur est de █ mm 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 █ mm obtenue pour le cône de la colonne.

9.1.4 Note de calcul en fatigue

Lors de la conception de l'évaporateur T2-4120-21, 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

[17] NT 100210 12 0007 B : Note de calcul en fatigue des évaporateurs R2 et T2 4120-21/22/23

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 :	█ °C	█ °C
Température maxi de service :	█ °C	█ °C
Pression mini de service :	█ bar	█ bar
Pression maxi de service :	█ bar	█ bar

Tableau 8 – Conditions de calcul pour la fatigue

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

- Les transitoires :

Température du caloporteur (°C)	Temps (h)	Température de la solution (°C)	Temps (h)
█	0	█	0
█	4,6	█	4,6
█	500	█	500
█	500,33	█	503
█	510	█	510
█	515	█	515

Phase	Température du caloporteur (°C)	Temps (h)
Mise en chauffe	█	0
	█	4,6
Régime Etabli	█	500
Refroidissement	█	500,33
	█	510
Vidange	█	515

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)

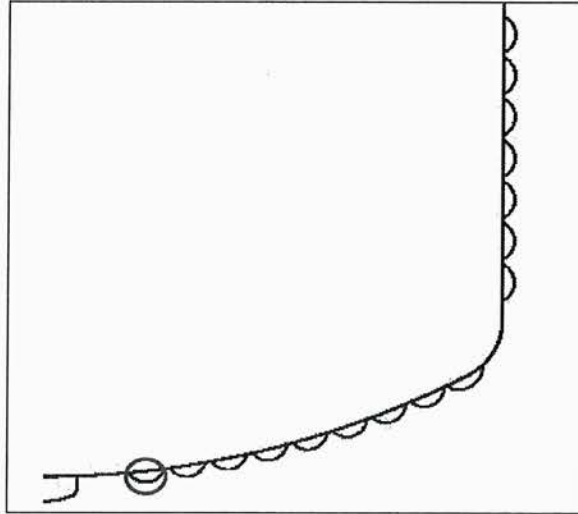


Figure 8 – Modèle de calcul en fatigue axi-symétrique

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

Plasqui

- Détermination du nombre de cycles admissible en température :

Détermination de la température t^*

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

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

$$t^* = 0,75 \cdot 200 + 0,25 \cdot 100 = 175 \text{ C}$$

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

D'après 3.2 :

$$R_{e,t^*} = 355 \text{ MPa}$$

Détermination du coefficient de correction en température

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

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

$$C_t = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 175 = 0,929$$

Détermination du coefficient de correction en épaisseur

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

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

$$C_e = \text{MIN} ([1] ; [(25/10)^{0,25}]) = 1$$

Détermination du coefficient de correction global de résistance à la fatigue

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

$$C_r = C_t \cdot C_e$$

$$C_r = 0,929 \cdot 1 = 0,929$$

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 B.

On a donc :

$$C_1 = B^3 \cdot 2 \cdot 10^6 = 1,2 \cdot 10^6$$

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 :

$$k_e = 1 + 0,4 \left(\frac{\Delta\sigma_{lin}}{2 R_{e,t}} - 1 \right) = 1,1$$

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] :

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

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 :

$$\Delta\sigma^* = \Delta\sigma^{**} = 110 \text{ MPa}$$

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

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

$$N_{adm} = \frac{10^6}{\left(\frac{110}{100} \right)^3} = 971 \text{ cycles}$$

Le nombre de cycles admissible en température pour l'évaporateur 4120-21 de T2 est estimé à 971 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	0,3	
Variation contrainte max	████	MPa
Classe de résistance	██████████	MPa ³
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	971	cycles
Ncycle adm ZNS	████	cycles
Ncycle adm MAX	971	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 était plus pénalisant des évaporateurs 4120-21-22-23 de ██████████ est plus pénalisant pour une variation de pression d'amplitude maximale que le couple Pression / Epaisseur des évaporateurs 41210-21-22-23 de ██████████. De ce fait, le calcul du taux d'endommagement de ██████ sera réalisé sur la base des résultats de █████ :

Détermination de la température t^*

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

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

$$t^* = 0,75 * \blacksquare + 0,25 * \blacksquare = \blacksquare \text{ C}$$

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 :

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

$$N_{\text{adm}} = \blacksquare = 181375 \text{ cycles}$$

Le nombre de cycles admissibles en pression pour l'évaporateur 4120-21 de T2 est estimé à 181375 cycles par assimilation à \blacksquare (plus généralisé).

9.1.5 Niveau du facteur de fabrication de l'équipement

Compte tenu de la conformité du dimensionnement à un code de construction et des documents du dossier descriptif [12], 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 4120-21 de T2. Les investigations se sont déroulées :

- 1^{ère} campagne : du 19 au 22 novembre 2012,
- 2^{ème} campagne : du 12 au 16 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.

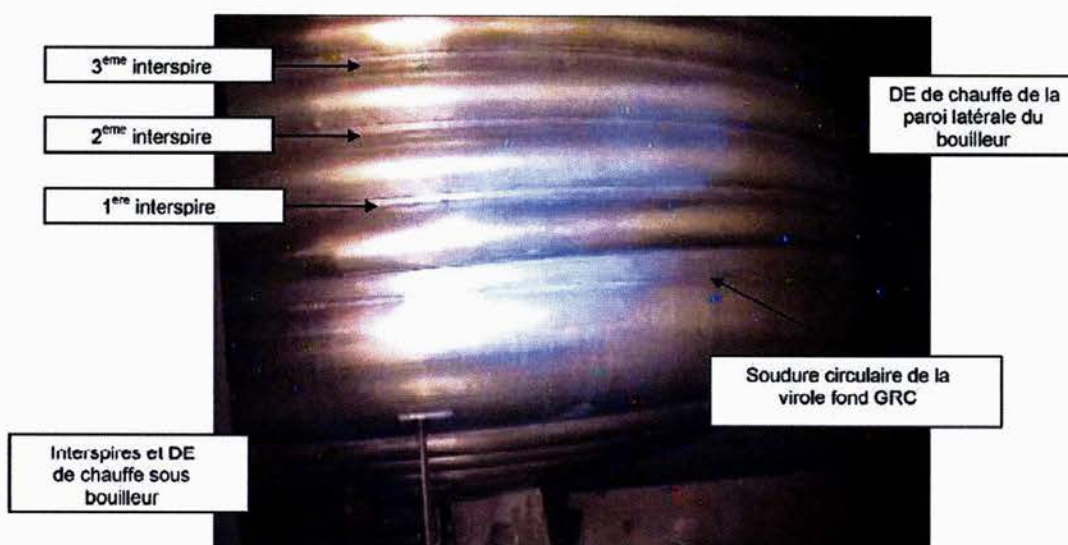


Figure 10 – Image extraite des observations visuelles réalisées sur l'évaporateur 4120-21 de l'atelier T2 en novembre 2012

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) (cf. § 9.3.2.1.1) avec un nombre de points de mesure suffisant. Ces mesures concernent en particulier l'arrivée d'eau surchauffée du fond torisphérique inférieur des évaporateurs de l'atelier T2.

Les spécifications relatives aux contrôles non destructifs sont exposées dans une note technique [18], qui précise notamment une cartographie idéale 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 4120-21 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 montées sur des perches articulées.

Lors des campagnes de mesures réalisées précédemment, la zone de mesure est réduite à un secteur angulaire d'environ [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, 5^{ème} 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 R2 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 2012 et 2015 sont communiqués dans le tableau suivant

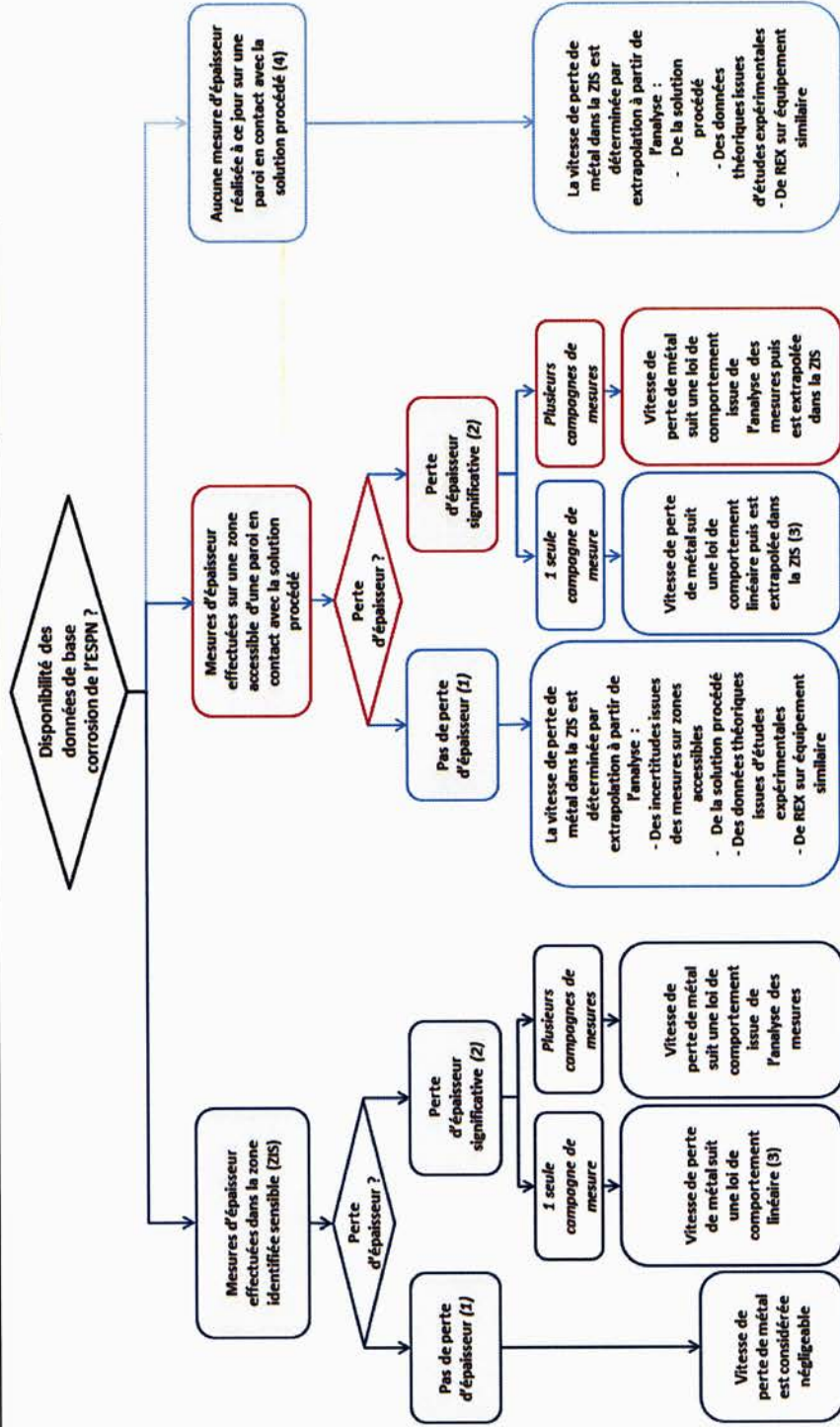
Masque

Edition GEIDE du 07/01/2016 - Etat Validé

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 procédée 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 4120-21 de l'atelier T2, l'épaisseur limite est liée à une spécificité de fabrication. Les soudures du bouilleur sont des soudures « mixtes » qui ont été réalisées avec deux nuances de métal d'apport : [REDACTED] pour les premières passes 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 de [REDACTED].

L'épaisseur limite est déduite à partir des épaisseurs initiales des tôles. L'épaisseur limite est :

- o [REDACTED] mm pour la virole,
- o [REDACTED] mm pour le fond.

9.2.3.3.3 Vitesse de perte d'épaisseur

À ce jour, l'évaporateur 4120-21 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.

	Zone de mesure	Vitesse de corrosion ($\mu\text{m}/\text{an}$)
Virole	A0	[REDACTED]
	A	[REDACTED]
	B5	[REDACTED]
	B4	[REDACTED]
	B3	[REDACTED]
	B2	[REDACTED]
	B1	[REDACTED]
	B0	[REDACTED]
	ZIS : arrivée EF latérale bas	[REDACTED]
Fond	C	[REDACTED]
	D1	[REDACTED]
	D2	[REDACTED]
	D3	[REDACTED]
	D4	[REDACTED]
	ZIS : arrivée EF fond	[REDACTED]

Tableau 12 - Vitesse de perte d'épaisseur moyenne obtenue par zone – Évaporateur 4120-21 de T2 – F1 = [REDACTED] ; F2 = [REDACTED]
(Cf. 9.3.2.1.3.4)