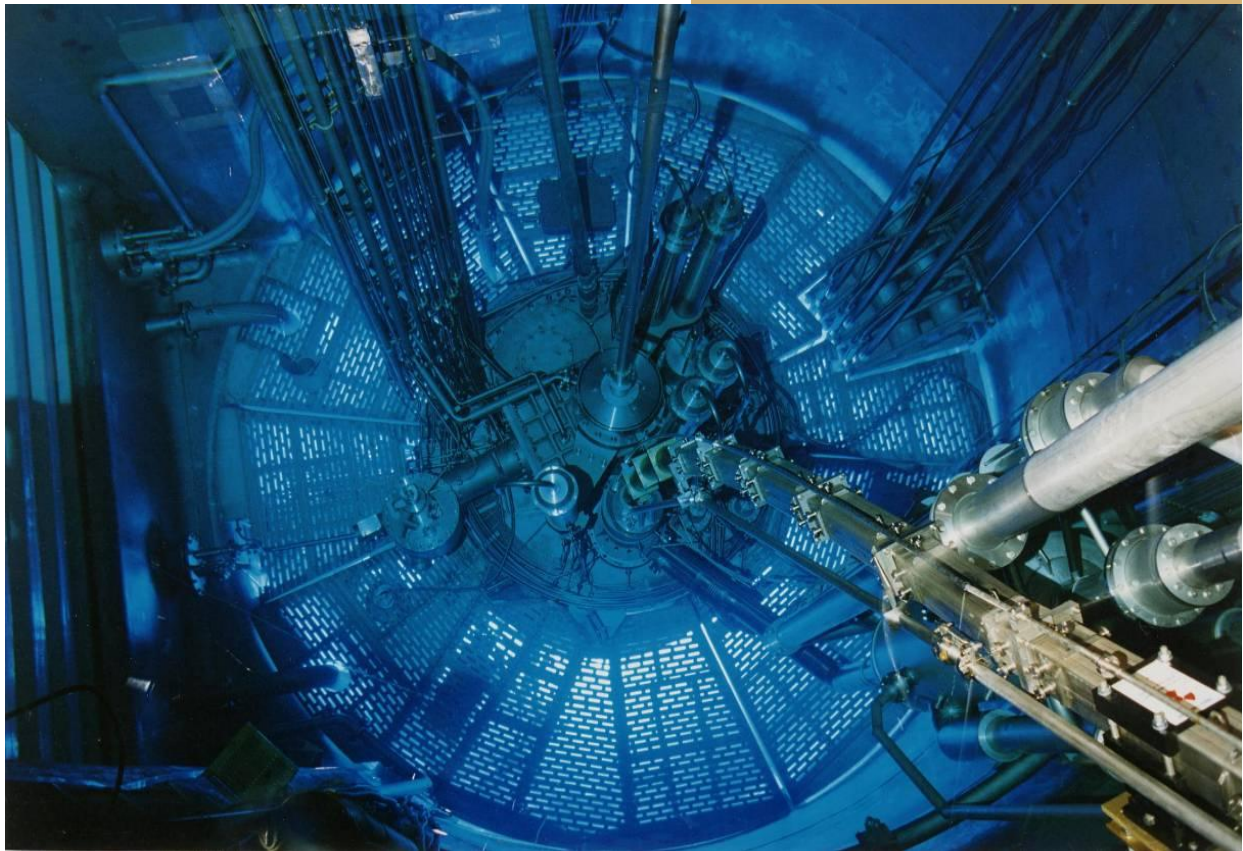


Rapport RHF n° 482

**Demande d'aménagement  
Source Froide Verticale (SFV3)  
(compartiments C4, C5 et C6)**



**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT  
SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

**Champ d'application et résumé**

**Historique des évolutions**

Indice	Date	Références	Commentaires/objet des évolutions d'indice
0	20/03/2014	DRe FG/gs 2014-0247	Création du document
A	9/12/2014	DRe BD/gl 2014-980	Modification suite à la réunion avec la DEP du 1/10/2014. En particulier point n°6 du courrier ASN-CODEP-LYO-2014-046990


**Destinataires**

Les signataires

Chefs de service et de groupe concernés :

Autres :

	Rédacteur	Vérificateur (s)	Approbateur
<b>Nom</b>	JM SUDRE/F. GAMONET	F. GAMONET / F. FRERY	B. DESBRIERE
<b>Visa</b>			

 <b>NEUTRONS FOR SCIENCE</b> DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 3/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A


## TABLE DES MATIERES

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>II.</b>	<b>DOCUMENTS DE REFERENCE .....</b>	<b>5</b>
<b>III.</b>	<b>MOTIVATIONS DES DEMANDES DE MODALITES PARTICULIERES DE SUIVI EN SERVICE6</b>	
3.1	Description de l'ensemble fonctionnel source froide verticale et de son environnement direct .....	6
3.1.1	Description fonctionnelle de la source froide SFV3 .....	6
3.1.2	Configuration de la source froide verticale .....	7
3.1.3	Description physique.....	7
3.1.4	Schéma de principe simplifié de la SFV3 .....	8
3.1.5	Environnement direct de la SFV3.....	9
3.1.6	Caractéristiques des fluides en contact avec les compartiments .....	11
3.1.7	Exploitation de l'ensemble fonctionnel source froide verticale .....	13
3.1.8	<i>Accessoires de sécurité associés.....</i>	<i>14</i>
3.2	Exigences réglementaires applicables à la fabrication et au suivi en exploitation de l'ensemble fonctionnel .....	15
3.2.1	Critères relatifs à la conception et à la fabrication .....	15
3.2.2	Critères relatifs au suivi en exploitation : .....	17
3.3	Justification de l'impossibilité de réaliser des actions réglementaires sur la base des caractéristiques techniques et environnementales de l'ensemble fonctionnel (C4, C5 et C6) 19	
3.3.1	Problématiques jugées inacceptables lors des inspections périodiques et requalifications périodiques .....	19
<b>IV.</b>	<b>ANALYSE DES FACTEURS AYANT UN IMPACT SUR LA PROBABILITE DE DEFAILLANCE DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL SFV .....</b>	<b>24</b>
4.1	Facteur relatif à la conception et la fabrication .....	24
4.2	Facteur relatif à l'état réel de l'ensemble fonctionnel SFV3 .....	25
4.3	Facteur relatif à la sensibilité face à des dégradations potentielles .....	27
4.3.1	Effet de l'irradiation .....	27
4.3.2	Effet des basses températures.....	28
4.3.3	Fatigue thermique oligocyclique ou grand nombre de cycles .....	29
4.3.4	Comportement thermique des soudures hétérogènes .....	30
4.3.5	Fatigue vibratoire .....	30
4.3.6	Pics locaux de pression.....	31

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

4.3.7	Fluage.....	31
4.3.8	Concentration de contraintes .....	32
4.3.9	Corrosion .....	33
4.3.10	Vidange du compartiment en cas de rupture d'une tuyauterie .....	33
4.3.11	Conclusion facteur relatif à la sensibilité face à des dégradations potentielles pour le compartiment.....	34
4.4	Résultat probabilité de défaillance .....	34
<b>V.</b>	<b>ÉQUIVALENCE DU NIVEAU DE SECURITE AVEC LES MESURES COMPENSATOIRES AU REGARD DES MESURES DE DROIT COMMUN NORMALEMENT PREVUES.....</b>	<b>35</b>
5.1	Préambule .....	35
5.2	Performance gestes réglementaires.....	36
5.3	Compartiment enceinte Zircaloy (C4).....	37
5.3.1	Performance gestes compensatoires .....	37
5.3.2	Performance des dispositions préventives .....	37
5.3.3	Analyses des performances et des niveaux de sécurité : .....	39
5.3.4	Comparaisons des performances.....	40
5.4	Conclusion niveau de sécurité .....	41
<b>6</b>	<b>EVALUATION DES CONSEQUENCES DE DEFAILLANCE .....</b>	<b>41</b>
6.1	Facteur conséquence sur les travailleurs. ....	41
6.2	Facteur conséquence sur l'environnement.....	42
6.3	Facteur conséquence sur d'autre EIP. ....	42
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>42</b>

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 5/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## I. Introduction

L'arrêté ESPN du 12 décembre 2005 a défini ce qu'est un équipement sous pression nucléaire et a déterminé quel devait être le suivi en exploitation à réaliser sur ces équipements. Des difficultés de mise en application de ces exigences réglementaires ont été mises en évidence par plusieurs exploitants sur certains équipements. La réglementation prévoit à ce titre, que l'ASN puisse accorder sur demande motivée d'un exploitant, des conditions particulières d'application aux exigences réglementaires applicables à un ESPN.

Cet ESPN est listé dans le rapport RHF N°444.

L'analyse décrite dans ce document a pour objectifs :

- De présenter les motivations des demandes de modalités particulières de suivi en exploitation.
- D'analyser les facteurs ayant un impact sur le niveau de sécurité de l'ESPN.
- De démontrer l'équivalence du niveau de sécurité avec les mesures compensatoires au regard des mesures de droit commun normalement prévues.
- D'évaluer les conséquences de la défaillance de l'ESPN concerné

Ind.A

*Conformément aux conclusions de la réunion du 1/10/2014 avec la DEP en présence de la division de Lyon, courrier ASN-CODEP-LYON-2014-046990, ce document est mis à jour pour réévaluer le risque de défaillance non pas des compartiments C5 et C6 pris séparément mais de l'ensemble fonctionnel « source froide verticale » (C4, C5, C6) et en présentant les éléments de démonstration du maintien du niveau de sécurité de l'équipement vis-à-vis du risque de défaillance porté par le seul compartiment C4.*


## II. Documents de référence

### Références réglementaires :

- Courrier ASN réf. CODEP-DEP-2013-034129 « conditions particulières d'application du titre III du décret du 13/12/1999 aux ESPN
- Décret n°99-1046 du 13 décembre 1999 modifié, relatif aux équipements sous pression.
- AM du 12/12/2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires

### Références qualité interne ILL :

- Courrier ASN réf. CODEP-DEP-2013-034129 « conditions particulières d'application du titre III du décret du 13/12/1999 aux ESPN
- Courrier ILL réf.2013 0847 relatif à l'identification et au classement des ESPN de l'ILL

 <b>NEUTRONS FOR SCIENCE</b> DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 6/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

- Courrier ILL réf. DRe BD-FG/ie 2010-0728 avec transmission du document RHF n° 386 : Examen de conformité des équipements sous pression nucléaires du RHF – Application aux sources froides »
- Rapport RHF 444 ind. B

Plans :

- PID circuit 919 Re9C09 P09 100
- Cellule (D<sub>2</sub>O) Re9C14 P1000 - Re9C13 P002-001
- Chaussette Zircaloy (vide) Re9C13 001-001 – Re9C13P001-002 – Re9C13P001-003
- Tube guide vertical (hélium) 9C33P1 000

### III. Motivations des demandes de modalités particulières de suivi en service

Tel que décrit dans le document RHF n°484 la demande de suivi en service réglementaire s'applique à l'équipement global « bloc pile ». Compte tenu de la complexité du récipient multi-compartiments et de l'inadaptation du texte à celui-ci, nous réalisons des demandes de modalités particulières de suivi en service par compartiment ou ensemble fonctionnel.


#### 3.1 Description de l'ensemble fonctionnel source froide verticale et de son environnement direct

##### 3.1.1 Description fonctionnelle de la source froide SFV3

Cet équipement a été construit et assemblé par le fournisseur SEIV sous la maîtrise d'œuvre de l'ILL. Certains éléments intégrés ou assemblés ont été fabriqués par d'autres fournisseurs sous la maîtrise d'œuvre de l'ILL.

Cet équipement est l'élément principal de l'installation Source Froide Verticale. Le but de cette installation est de maintenir un volume de 25 litres de deutérium liquide (à 24 K) à l'intérieur du réflecteur eau lourde du réacteur afin de fournir des neutrons froids aux scientifiques.



 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 7/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

De par conception, c'est une installation cryogénique. L'ensemble des volumes sont isolés thermiquement par un vide secondaire. Compte tenu de l'énergie déposée par les flux nucléaires, l'équipement est conçu pour subir un échauffement minimal et permettre un apport de frigories important tout en optimisant la production de neutrons froids.

Compte tenu de son positionnement dans le réacteur, un ensemble de protections biologiques est intégré dans l'équipement. L'une d'elle est constituée d'une enceinte remplie en eau légère, à l'intérieur même de l'équipement.

### 3.1.2 Configuration de la source froide verticale

De façon simplifiée, l'ensemble fonctionnel (équipement à l'origine) est formé de trois volumes (compartiments) :

- L'enceinte deutérium (C5) : cellule et tube de descente
- L'enceinte vide (C4) : enceinte Zircaloy et bouchon
- Le tube guide vertical (C6).

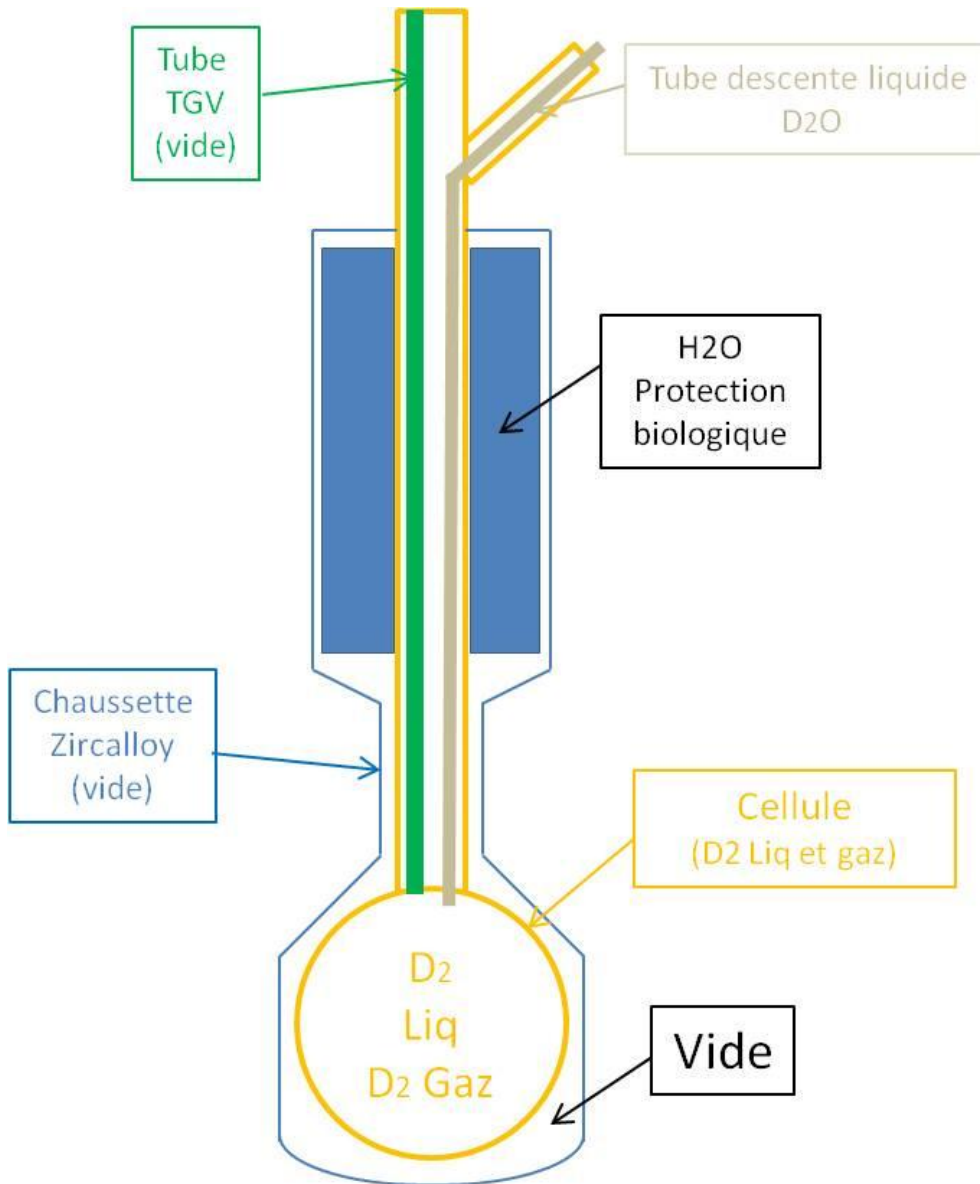
En situation de fonctionnement normale, les pressions sont :

- Cellule : 1,5 à 3 bar absolus en deutérium liquide et gaz,
- Bouchon :  $1.10^{-7}$  mbar absolu
- Tube guide vertical : 0,3 mbar absolu en hélium.


### 3.1.3 Description physique

C'est un ensemble fonctionnel de 6 mètres de long pour un diamètre extérieur maximal de 420 mm.

3.1.4 Schéma de principe simplifié de la SFV3





 <p>NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR</p>	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 9/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

### 3.1.5 Environnement direct de la SFV3

L'ensemble fonctionnel source froide verticale SFV3 est installé de façon verticale dans le bloc pile.

Il repose sur la partie supérieure du bloc pile, et est plongé dans l'eau lourde du bloc pile.

La partie supérieure baigne dans l'eau légère de la piscine. L'ensemble se trouve sous 8 mètres d'eau de la piscine du réacteur.

Pour déterminer plus précisément l'environnement direct de la SFV3, il est nécessaire de prendre en considération sa forme et son implantation dans l'installation.

Sur la base de ce postulat nous avons donc déterminé 3 zones spécifiques réparties sur la hauteur de l'équipement comme décrites sur le schéma qui suit.

TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT

SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)

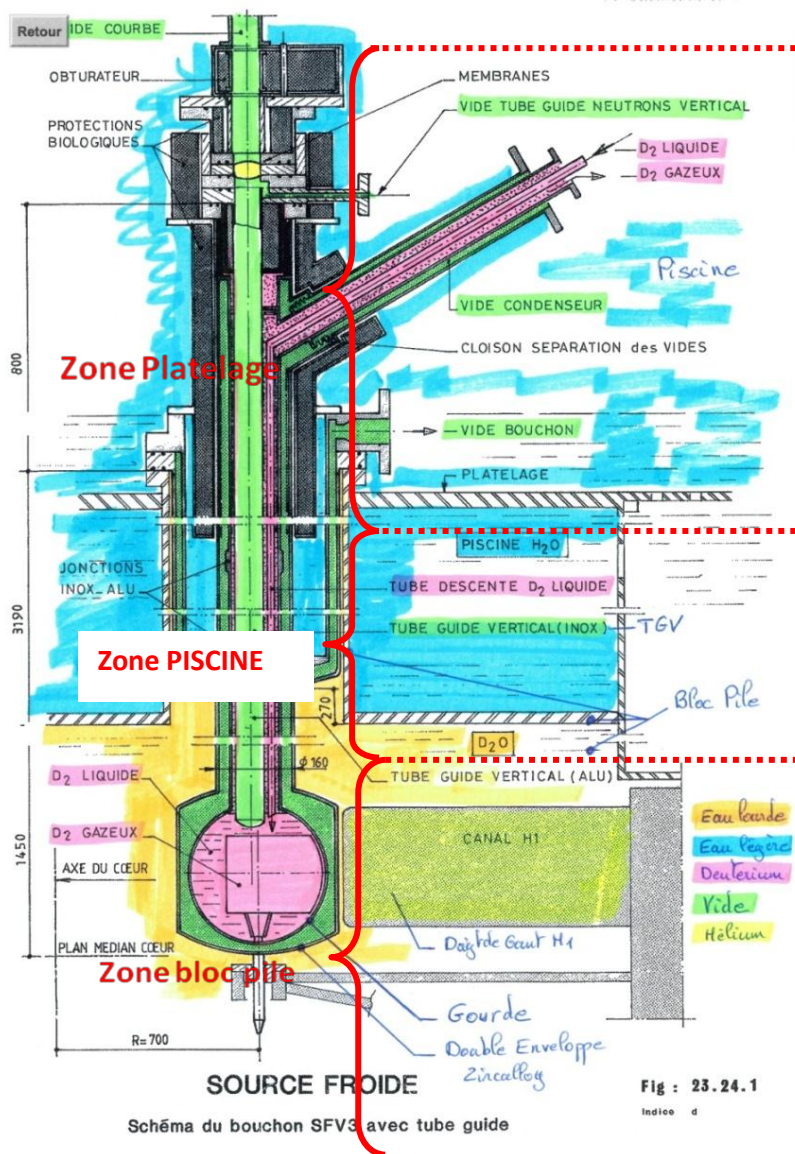



Fig : 23.24.1  
Indice d

 <b>NEUTRONS FOR SCIENCE</b> DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 11/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

Zones concernées	Éléments présents au voisinage de la SFV3
<b>Zone Platelage</b>	Vanne réacteur Tuyauteries D <sub>2</sub> Guide courbe neutrons ultra froids
<b>Zone Piscine</b>	Cheminée réacteur Paroi réacteur
<b>Zone Bloc pile</b>	Canal H1 Canal H2 Centreur Élément combustible

### 3.1.6 Caractéristiques des fluides en contact avec les compartiments

L'arrangement des compartiments en plusieurs parois les unes entourant les autres permet de répondre aux exigences initiales de fonctionnement et de sûreté de l'ensemble fonctionnel source froide verticale. Le process consiste en la création d'un volume au travers duquel les neutrons vont se refroidir. Pour cela est mis en œuvre du deutérium à l'état liquide à 24 K dans une sphère qui nécessite une isolation thermique performante autour puisque l'objet se trouve dans de l'eau à 50°C et à proximité du cœur. L'isolation thermique est réalisée par un vide secondaire entre la sphère et l'enveloppe zircaloy. Pour certaines phases de maintenance et d'étalonnage des équipements, les volumes sont inertés en azote gaz.

De l'hélium à très faible pression dans le tube TGV permet un léger échange de chaleur entre le tube et le réflecteur nickel à l'intérieur par convection/conduction.

#### 3.1.6.1 Deutérium

La liquéfaction du deutérium, avec des caractéristiques très proches de l'hydrogène, est obtenue à très basse température. De ce fait la pureté du gaz est fondamentale pour le process : la solidification des impuretés potentiellement présentes à ces températures est un facteur perturbateur important du fonctionnement de l'installation.

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

Ainsi des contrôles sont réalisés avant chaque mise en froid et les analyses types des impuretés du gaz sont les suivantes ((exigé)/réel) en ppm : oxygène (<10)/ <2 – azote (<100)/ < 10 – méthane (<20)/ <10 – humidité (<20)/<12.

Le deutérium est issu de bouteilles spécialement commandées pour cette application/process et analysées avant utilisation.

### 3.1.6.2 Vide

Le vide est ici utilisé comme isolant thermique. Le principe physique est d'enlever le maximum d'atomes dans le volume afin que ceux-ci ne transmettent pas de chaleur entre les parois.

Ainsi dans l'installation et en fonctionnement, un vide de l'ordre de  $10^{-6}$  mbar est maintenu entre la cellule et l'enceinte zircaloy.

### 3.1.6.3 Azote

Compte tenu de la mise en œuvre d'un gaz explosif et de l'importance de l'absence d'impuretés, les volumes sont toujours inertés pour éviter la création d'atmosphères explosives et la pollution des parois. Ces inertages sont réalisés par de l'azote, gaz neutre. Cet azote est issu d'un tank d'azote liquide, donc exempt d'impureté.

L'azote est aussi utilisé pour le rinçage et la dilution du deutérium ainsi que pour le balayage des tuyauteries.

### 3.1.6.4 Hélium

L'hélium est utilisé à très faible pression (1 mbar absolu) dans le tube TGV. Cet hélium est issu d'une bouteille de gaz B50 de même origine que celles pour les compartiments doigt de gant.

Cet hélium est approvisionné auprès du fournisseur Air Products par bouteilles B50. La qualité de gaz est « Hélium technique » 99,996% en conformité avec la spécification interne du producteur (O<sub>2</sub> < 3vpm – H<sub>2</sub>O < 3vpm – N<sub>2</sub> < 10vpm).

### 3.1.6.5 Eau lourde

*L'eau lourde mise en œuvre dans le compartiment bloc pile est de l'eau lourde déminéralisée.*

*La conductivité et le pH de l'eau sont contrôlés en permanence par des sondes. Ses caractéristiques sont : conductivité inférieure à  $1.5\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et le pH entre 4,6 et 5,6.*

Ind. A

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

Ind. A

*La turbidité et le titre de l'eau sont vérifiés de façon hebdomadaire. Les valeurs garanties sont  $Al_2O_3 \leq 4mg/l$  et le titre  $> 99,75 \%$ .*

*L'eau en contact avec le composant doigt de gant est à une température entre 20 et 50°C en fonctionnement.*

### 3.1.7 Exploitation de l'ensemble fonctionnel source froide verticale

Le fonctionnement de l'ensemble fonctionnel source froide verticale est fortement lié au fonctionnement du réacteur puisque le réacteur ne peut fonctionner si la source froide n'est pas en froid et la source froide ne doit pas être arrêtée si le réacteur est en puissance.

La cellule en deutérium (C5) est reliée à un circuit fermé et conditionné à 2 bars relatifs de pression. En faisant refroidir le gaz au niveau du condenseur, celui se contracte puis se liquéfie et s'accumule sous forme de liquide dans la cellule. A la pression régulée de fonctionnement de 0,5 bar relatif, la cellule est remplie d'environ 25 litres de deutérium liquide à 24K. A l'arrêt, le gaz se réchauffe à la température ambiante et la pression remonte à 2 bars relatifs.

L'enceinte Zircaloy (C4), pour assurer l'isolation thermique, est tirée au vide par l'intermédiaire de pompes à vide. Lorsque le vide secondaire est atteint, le circuit est isolé sur lui-même et le vide est maintenu inférieur à  $10^{-6}$  mbar absolu par une pompe ionique.

Le tube TGV (C6) est tiré jusqu'à un vide secondaire puis regonflé en hélium à 1 mbar absolu avant la mise en froid de la source froide. La pression est ensuite surveillée, le volume étant isolé sur lui-même.


Les conditionnements des compartiments de l'ensemble fonctionnel SFV3 sont réalisés grâce à plusieurs caissons et platines de l'installation source froide verticale. Les schémas PID sont présentés en annexes 1 et 2. Les circuits de conditionnement des compartiments cellule et enceinte Zircaloy sont représentés sur le plan : Re9C09P09 100 et ceux du compartiment tube TGV sur le plan Re9C09P09 800.

### 3.1.8 Accessoires de sécurité associés

La protection de l'enceinte en zircaloy C4 vis-à-vis des surpressions est assurée par :

- Le disque de rupture DR01 lorsque la source est en mode « fonctionnement ». En effet, lors du fonctionnement, les vannes V2 et V45 d'une part et V3 et V46 d'autre part sont fermées pour isoler le vide « bouchon » du vide « condenseur. Dans le scénario postulé de rupture de la gourde, pris en compte dans l'analyse de sûreté de l'équipement source froide, compartiment C5, la vaporisation du deutérium liquide conduit à une montée en pression du compartiment C4. Cette montée en pression est limitée par la rupture du disque DR01 qui permet alors la mise en communication du vide « bouchon » avec le ballast. Le disque de rupture DR01 est constitué d'une feuille mince, 0,05 mm en AG3. Elle rupte pour une surpression d'environ 300 mbar côté vide bouchon par rapport à la pression du circuit D<sub>2</sub>, soit pour une pression absolue de 1,8 bar en fonctionnement (Cf fiche CF2.DE.1 en annexe 3).
- Le disque de rupture DR02 lorsque la source est en mode « maintenance ». En effet lorsque la source est réchauffée, les vannes V2 et V45 d'une part et V3 et V46 d'autre part peuvent être ouvertes pour permettre le pompage primaire et secondaire de l'enceinte C4. Une erreur de conditionnement de l'enceinte avec de l'azote en maintenance pourrait être la cause d'une montée en pression. Cette montée en pression est alors limitée par le disque de rupture DR02 à 2,75 bar.

Ind. A

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 15/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## 3.2 Exigences réglementaires applicables à la fabrication et au suivi en exploitation de l'ensemble fonctionnel

### 3.2.1 Critères relatifs à la conception et à la fabrication

Cet équipement a été fabriqué en 1982. La fabrication a été réalisée selon les spécifications techniques ILL et les calculs en conformité avec la section NCA 3555 de l'ASME III.

#### **L'enceinte deutérium C5 (cellule et tube) :**

Elle est fabriquée en aluminium A5 pour la partie sous la jonction inox/alu et en inox Z2 CN 18 10 pour la partie supérieure.

#### *Dimensions :*

- Sphère cellule :  $\varnothing$  380 mm
- Tubes cellule : De  $\varnothing$  123 mm à  $\varnothing$  128 mm
- Tube descente liquide :  $\varnothing$  50 mm et 20 mm concentriques ovalisés.

#### *Epaisseurs dans les parties principales :*

- tubes cellule = 1.5 mm à 4 mm et Sphère = 1.45 mm
- Tube descente (magnésium) : 1 mm

#### *Pression de fonctionnement réelle :*

- De 1,5 à 3 bar absolus en deutérium liquide et gaz


#### *Pressions de calcul :*

- Pression interne : De 0 à 3 bar relatifs (hors tube de descente liquide)

#### **La Chaussette Zircaloy :**

Elle est fabriquée en Zircaloy 2 et 4



 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 16/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

Dimensions :

- Tubes : De  $\varnothing 160$  mm à  $\varnothing 415$  mm
- Fonds :  $\varnothing 415$  mm

Epaisseurs dans les parties principales :

- Tubes = De 5 mm à 6 mm
- Fonds = 7 mm

Pression de fonctionnement réelle :

- $1.10^{-7}$  m bar absolu

Pressions de calcul :

- Pression interne : Du vide à 3 bar absolus
- Pression externe : 4,65 bar absolus

Conditions exceptionnelles ou SHI retenues pour le calcul :

- Pression externe : 10 bar absolus (scénario borax du RdS)
- Pression interne : 19 bar absolus (explosion du deutérium dans la cellule)

**Le tube guide vertical :**


Il est fabriqué en aluminium A5 et inox Z2CN18-10

Dimensions :

- Tubes : De  $\varnothing 73$  mm à  $\varnothing 74$  mm
- Fonds :  $\varnothing 73$  mm

Epaisseurs dans les parties principales :

- Tubes = de 1.5 mm à 2 mm
- Fond = 1.5 mm

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 17/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

Pression de fonctionnement réelle du TGV

- 0,3 à 1 mbar absolu en hélium

Pressions de calcul :

- Pression interne : du vide à 2 bars absolus
- Pression externe : du vide à 3 bars absolus

Conditions exceptionnelles retenues pour le calcul :

- Pression externe : 19 bars absolus (explosion du deutérium dans la cellule)

Compte tenu de la date de fabrication et des pressions de fonctionnement maximales qui sont strictement inférieures à 4 bars, l'équipement n'était donc pas soumis aux exigences du décret du 18/01/1943.

### 3.2.2 Critères relatifs au suivi en exploitation :


Le décret du 18/01/1943, définissait le seuil de soumission des appareils sous pression de gaz comme suit : **PS > 4 bar et PS\*V > 80 bar. Litre**. La source froide était considérée à l'époque comme étant constituée de 3 appareils dont les caractéristiques sont inférieures à ces seuils. De ce fait aucun contrôle réglementaire ne leur était applicable à l'époque.

L'arrivée de l'AM du 12/12/2005, a introduit de nouvelles notions qui engendrent la soumission de la source froide verticale à de nouvelles dispositions réglementaires. A ce titre, le nouveau classement imposé par l'ASN nous conduit à devoir considérer cet équipement comme trois compartiments du récipient bloc pile qui en comporte 50. Par conséquent le niveau de ces compartiments est défini par la somme des rejets des 50 compartiments ce qui conduit à considérer le récipient avec un niveau N2 (donc compartiments N2). L'augmentation d'exigence du fait du niveau N2 impose que soient utilisés les tableaux de classification de fluide groupe 1.

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

Caractéristiques	Chaussette Zircaloy (C4)	Cellule (C5)	Tube Guide Vertical (C6)	Unités
P. maximale admissible (PS)	4	3,5	2,3	Bar rel
P utilisation	-1 à 0	-1 à 2	-1 à 0	Bar rel
P épreuve initiale (PE)	19 / -10	6		Bar rel
T°. maximale admissible (TS)	100	100	100	°C
T° de fonctionnement	20 à 80	-260 à 100	-260 à 100	°C
Volume (réel/effectif)*	44,2	90	22	litres
Nature du fluide	Vide / deutérium tritié	Deutérium tritié	Vide + hélium / deutérium tritié	
Groupe de dangerosité	2	1	2	
Activité (compartiment)	< 370 en fonctionnement mais 275000 en cas de défaillance de la cellule	275000	< 370	MBq
Catégorie de risque pression	II (par application du tableau 1)	II (par application du tableau 1)	II (par application du tableau 1)	
Niveau ESPN	N2	N2	N2	
Classification	EIS 2	NC	NC	
Contrôle soudure	100% radio + 100% ressuage	100% radio + 100% ressuage	100% radio + 100% ressuage	

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 19/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

L'ensemble fonctionnel source froide verticale (C4, C5 et C6) est par conséquent soumis aux dispositions réglementaires des annexes 5 et 6 relatives au suivi en exploitation de l'AM du 12/12/05.

### **3.3 Justification de l'impossibilité de réaliser des actions réglementaires sur la base des caractéristiques techniques et environnementales de l'ensemble fonctionnel (C4, C5 et C6)**

#### **3.3.1 Problématiques jugées inacceptables lors des inspections périodiques et requalifications périodiques**

Le point 3.4 de l'annexe 5 et le point 2.5 de l'annexe 6 exigent respectivement que soit réalisé :

- Lors des Inspections périodiques : une vérification visuelle extérieure et intérieure de l'équipement, ainsi qu'une vérification visuelle des accessoires de sécurité et accessoires sous pression qui lui sont associés.
- Lors de requalifications périodiques : Une visite extérieure et intérieure ainsi qu'une épreuve hydraulique, ainsi qu'une vérification visuelle des accessoires de sécurité et accessoires sous pression qui lui sont associés.

La seule partie visible du multi-compartiment est la partie inférieure ortho-cylindrique qui est inspectée partiellement par le biais de moyens télévisuels lors de l'inspection annuelle du bloc pile. Compte tenu des dimensions de celui-ci, de sa géométrie et de sa conception, le reste des surfaces n'est pas visible. La cellule quant à elle n'est pas accessible car elle est totalement intégrée dans la cellule/chaussette Zircaloy et ne peut être désolidarisée de cette dernière.

En ce qui concerne la visite intérieure, les problématiques citées avant se posent d'elles même par défaut.

Outre cela, d'autres problématiques majeures et jugées inacceptables par l'ILL viennent s'ajouter. Celles-ci sont exposées dans le tableau ci-après :

## MULTI-COMPARTIMENT SFV3

Contraintes spécifiques identifiées	conséquences directes lors des inspections périodiques	conséquences directes lors des requalifications périodiques
<b>Contraintes organisationnelles</b>		
<b>Mise à Disposition technique de la SFV</b>	Temps d'immobilisation hors aléas estimé à 4 mois en équipes postées (2/8)	Temps d'immobilisation hors aléas estimé entre 4 à 5 mois en équipes postées (2/8)
<b>Contraintes techniques</b>		
<b>Contrôle visuel Externe de la chaussette Zircaloy et de la cellule deutérium.</b>	<p><b><u>Chaussette Zircaloy :</u></b></p> <p>Inefficacité de l'examen visuel due à la présence d'une couche d'oxyde de Zircaloy ou d'aluminium qui masque la paroi brute et rend difficilement détectable la présence de potentielles indications. Zone visible très partielle.</p> <p><b><u>Cellule deutérium :</u></b></p> <p>Accessibilité impossible sans démontage complet de la protection biologique et désolidarisation de la jonction inox / aluminium (= <b>action destructive !</b>) sur la section tubulaire de la cellule deutérium. Ces deux éléments constituent un obstacle physique pour l'examen visuel par endoscopie.</p> <p>Inefficacité de l'examen télévisuel due au fort parasitage de l'image vidéo lié à l'activité radioactive.</p>	

## MULTI-COMPARTIMENT SFV3

Contraintes spécifiques identifiées	conséquences directes lors des inspections périodiques	conséquences directes lors des requalifications périodiques
<p><b>Contrôle visuel interne de la chaussette Zircaloy et de la cellule deutérium.</b></p>	<p><b><u>Chaussette Zircaloy :</u></b></p> <p>Accessibilité impossible sans démontage complet de la protection biologique et désolidarisation de la jonction inox / aluminium (action destructive) sur la section tubulaire de la cellule deutérium. Ces deux éléments constituent un obstacle physique pour l'examen visuel par endoscopie. (voir plan annexe 1)</p> <p>Inefficacité de l'examen télévisuel due au fort parasitage de l'image vidéo lié à l'activité radioactive.</p> <p><b><u>Cellule deutérium :</u></b></p> <p>Visite interne impossible car l'activité radioactive nécessite lors de l'intervention l'obturation des seules zones d'accès possible pour l'examen visuel à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'orifice situé au niveau du tube guide Neutrons</li> <li>• l'orifice du circuit thermosyphon.</li> </ul> <p>Cette obturation est nécessaire afin d'éviter le dégazage du tritium dans l'atmosphère et la non pollution des parois par des impuretés (H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, ...).</p>	
<p><b>Pollution des circuits lors de la mise à disposition de l'installation</b></p>	<p><b><u>Circuit vide (Enceinte zircaloy) :</u></b></p> <p>Le vide est nécessaire en fonctionnement normal pour garantir l'isolement thermique des parties cryogéniques.</p> <p>Toute entrée de fluides autre que du vide ou de l'hélium dans le circuit de vide du doigt de gant en fonctionnement peut engendrer la formation de glace entraînant des bouchages et des contraintes mécaniques sur les parois internes. Le niveau de vide à obtenir pour fonctionner est de 1.10<sup>-7</sup> mbar</p>	

## MULTI-COMPARTIMENT SFV3

Contraintes spécifiques identifiées	conséquences directes lors des inspections périodiques	conséquences directes lors des requalifications périodiques
	<p><b><u>Circuit Deutérium (Cellule SFV3) :</u></b></p> <p>Peut générer de la glace lors de la mise en froid de la SFV, pouvant entraîner une obturation du circuit deutérium au niveau du thermosiphon.</p> <p>Les teneurs en O2 H2O et N2 sont mesurées avant chaque démarrage et ne doivent en aucun cas dépasser les valeurs suivantes : O2 &lt; 5ppm - H2O &lt; 20 ppm N2 &lt; 100 ppm. et pour garantir un fonctionnement stable et maîtrisé à la T° de 24K. Ces teneurs ne pourraient être garanties à la suite d'une visite interne ou d'une épreuve hydraulique des compartiments de la source froide.</p>	
<p><b>Séchage de l'installation après ouverture</b></p>	<p>Immobilisation de la SFV pendant plusieurs semaines pour obtenir une teneur en impureté compatible avec les seuils de fonctionnement de l'installation. Opération risquée, car les mesure ne peuvent pas être représentative des teneurs 8 mètres plus bas dans des zones exigües.</p>	
<p><b>Epreuve hydraulique</b></p>	<p>Sans Objet</p>	<p>Examen visuel externe impossible durant la mise en pression (sarcophage blindé) :</p> <p>Pas de détection de dégradation non rémanente.</p> <p>Aucune garantie de maintien de l'intégrité mécanique du compartiment après épreuve et avant remise en service.</p>
<p><b>Aucune SFV3 de rechange conforme à la réglementation ESPN ne peut être envisagée</b></p>	<p>La source froide horizontale est un outil à vocation scientifique. De ce fait, il est fondamental de considérer que certains facteurs liés à sa conception et sa fabrication puissent faire apparaître des intérêts contradictoires avec la réglementation en vigueur. Malgré toute l'attention que porte l'ILL au respect de la réglementation, concevoir et fabriquer un tel équipement en ne considérant que les aspects réglementaires ESPN pourraient remettre en cause la mission de recherche scientifique de l'ILL.</p>	



**Contraintes relatives aux intérêts protégés mentionnés au L593-1 du code de l'environnement**

<b>Exposition aux rayonnements ionisants</b>	Débit de dose à proximité de la SFV3: 2500 mSv/heure	
<b>Volonté d'effectuer des épreuves hydraulique avec de l'isopropanol lors des requalifications périodiques</b>	Sans Objet	Classement possible en zone ATEX si impossibilité de garantir l'étanchéité du circuit lors des phases de remplissages et vidanges  Exigences de sécurité spécifiques imposées par les OHA lors des requalifications périodiques avec des fluides volatiles.  Pollution des compartiments.
<b>Gestion des effluents</b>	Sans Objet	Le volume d'isopropanol nécessaire pour les épreuves (SFV3 + SFH) est estimé à 200 L.  Afin de pouvoir évacuer par les filières existantes les 200L d'isopropanol générés lors des contrôles des sources froides, l'activité tritium ne doit pas être supérieure à 4GBq. Or, les dernières analyses effectuées lors de la vidange des sources montrent des activités tritium de 1.7 TBq/m <sup>3</sup> pour la SFH. Compte-tenu de ces activités, il semble difficile d'obtenir moins de 4GBq dans les 200L d'isopropanol

**Contraintes économiques**

<b>Arrêt de l'installation pour mise en œuvre des dispositions réglementaires sur la SFV telles que décrites par l'AM du 12/12/05</b>	Immobilisation de l'outil de production au titre des activités réglementaires estimée à 20 mois sur 10 ans Soit une perte disponibilité de l'outil de production de 17% sur cette même période. Une telle perte de disponibilité aurait un impact considérable sur l'attractivité de l'ILL vis à vis de la communauté scientifique internationale.
---	--

*L'épreuve hydraulique avec de l'eau étant totalement incompatible avec la remise en service de l'équipement, l'ILL a examiné la possibilité de faire l'épreuve hydraulique réglementaire avec un fluide compatible avec la remise en service de l'équipement. C'est la raison de l'examen de la possibilité d'effectuer cette épreuve avec de l'isopropanol en lieu et place de l'eau.*

Ind.A

*Outre les difficultés liées à la sécurité et à la gestion des effluents que cette mise en œuvre d'isopropanol implique, il n'en reste pas moins que l'examen visuel pendant l'épreuve reste physiquement impossible, ne permettant donc pas de garantir le maintien de l'intégrité mécanique du compartiment après épreuve et avant remise en service.*

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 24/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## IV. Analyse des facteurs ayant un impact sur la probabilité de défaillance de l'ensemble fonctionnel SFV

L'analyse de sûreté (cf. fiches en annexe 3) de l'équipement SFV conduit aux classements suivants :

- Cellule (« gourde ») et TGV : EQS ;
- Double enveloppe de la cellule (« chaussette ») : EIS de rang 2 ;

Conformément à la méthodologie développée dans le cadre de cette analyse de sûreté, la défaillance des équipements EQS est susceptible de se produire dans la vie de l'installation, condition de fonctionnement de deuxième catégorie.

Ind. A

La défaillance de la gourde ou du TGV étant postulée, « le maintien du niveau de sécurité de l'équipement vis-à-vis du risque de défaillance » est reporté sur la deuxième enveloppe, i.e. la « chaussette » en zircaloy. C'est la raison du classement de celle-ci comme EIS de rang 2. La défaillance d'un tel équipement étant considérée, au titre de la sûreté, comme une condition de fonctionnement de quatrième catégorie et, au titre de la pression, comme non « raisonnablement prévisible ».

Ce classement de la chaussette permet « d'exclure en pratique », au titre de la sûreté, la défaillance de l'équipement fonctionnel SFV, puisqu'il nécessite la défaillance simultanée des deux compartiments C4 et C5 ou C4 et C6


**C'est donc bien le niveau de classement du seul compartiment C4, enceinte Zircaloy, qui doit être retenu pour l'équipement source froide.**

### 4.1 Facteur relatif à la conception et la fabrication

Tel que rappelé précédemment, l'ensemble fonctionnel source froide verticale était en dehors du champ d'application des décrets du 2 avril 1926 et du 18 janvier 1943 lors de leur fabrication en 1982 puisque mettant en œuvre des gaz à une pression inférieure à 4 bar.

Aujourd'hui, cet ensemble fonctionnel fait partie de l'équipement bloc pile qui est un ESPN néo-soumis à l'arrêt ESPN.

Dans le cas du suivi en service de cet équipement, l'exploitant doit rassembler les documents reconstituant un dossier descriptif pour justifier les caractéristiques des équipements.

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 25/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

Pour l'équipement bloc pile et en particulier l'ensemble fonctionnel source froide verticale, le dossier descriptif actuel comprend :

- Les plans de montage et d'ensemble de la SFV3
- Les plans de détail des composants constituant les compartiments cellule, enceinte Zircaloy et tube TGV
- Des notes de calcul des composants
- Un dossier de fabrication des composants comprenant :
  - o Certificats matière
  - o Cahier de soudage
  - o Procès-verbaux de contrôle en fabrication (100% ressuage, 100% radiographie, essais de résistance mécanique, tests d'étanchéité hélium, traitement de surface)
- Des spécifications d'équipements ILL pour la réalisation des composants.

Ces éléments permettent le classement suivant :

Ind.A

Niveau de classement	Conditions à satisfaire	Choix
<b>1</b>	Equipement construit conformément à un code de construction ou à une norme harmonisée.	<b>X</b>
<b>2</b>	Equipement construit conformément aux règles de l'art, ou éléments pertinents reconstitués par l'exploitant sur la base de données du fabricant, quel que soit le référentiel de construction.	
<b>3</b>	Dossier de fabrication absent	
<b>Niveau de classement final du facteur étudié</b>		
<b>1</b>		


## 4.2 Facteur relatif à l'état réel de l'ensemble fonctionnel SFV3

Les compartiments de l'ensemble fonctionnel SFV3 (C4, C5 et C6) n'ont pas été l'objet de dysfonctionnement ou de dégradation depuis leur exploitation en 1982.

Ind.A

*La contrainte retenue à la conception, dans le cadre de la démarche de sûreté dite de « défense en profondeur », du maintien du niveau de sécurité de l'équipement lors de l'explosion postulée d'un mélange stœchiométrique de deutérium et d'air a conduit à dimensionner l'enceinte zircaloy C4 à 19 bar absolus. Cette contrainte procure des marges très importantes, en particulier sur les épaisseurs mises en œuvre. De ce fait les modes de dégradation ou de vieillissement pris en compte et leurs évolutions en service sont très largement couvertes par cette hypothèse de dimensionnement.*

Niveau de classement	Conditions à satisfaire	Choix
1	<p>1° Equipement ne présentant aucune dégradation</p> <p style="text-align: center;"><b>OU</b></p> <p>2° 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 présentées à la conception</p> <p style="text-align: center;"><b>OU</b></p> <p>3° 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 et garantir que leurs évolutions en service, estimées de façon conservative, restent couvertes par les hypothèses considérées à la conception</p>	<b>X</b>
2	<p>Equipement non classé niveau 1 et 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.</p>	
3	<p>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.</p>	
<b>Niveau de classement final du facteur étudié</b>		
<b>1</b>		

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>							Page : 27/59	
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>							Ind. A	

### 4.3 Facteur relatif à la sensibilité face à des dégradations potentielles

Les modes de dégradations pris en considération pour cette étude sont au minimum ceux décrits au §2 de l'annexe 1 de l'AM du 12/12/2005.

La cotation de chaque mode de dégradation est réalisée sur la base du tableau ci-dessous extrait du courrier ASN CODEP-DEP-2013-034129.

Probabilité apparition dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
<b>Maîtrisée</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Non-Maîtrisée</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

L'exploitation de l'ensemble fonctionnel SFV3 est inchangée depuis son origine. Les pressions de fonctionnement, les températures, les gaz et leur pureté sont exactement identiques depuis les premières heures d'exploitation de la SFV3. Les conditions d'exploitation sont encadrées par des paramètres de fonctionnement précis et mesurables. Ceux-ci sont maîtrisés et surveillés ce qui permet de considérer les conditions d'exploitation comme maîtrisées.

Les seules inspections réalisables et réalisées sont les visites des parois extérieures de la cellule Zircaloy et la partie supérieure de SFV3 au-dessus du platelage.

#### 4.3.1 Effet de l'irradiation

L'irradiation du Zircaloy par des neutrons rapides augmente la limite élastique et la limite de rupture mais diminue l'allongement. Il apparaît une saturation à  $5.10^{19} n_r.cm^{-2}$  environ. Cependant, après une dose de  $5.10^{21} n_r.cm^{-2}$  (limite retenue en neutron rapide pour le zircaloy), l'allongement total est encore de 10 %. Un tel allongement est suffisant pour tous les cas de charge mécanique, le comportement du Zircaloy sous irradiation n'est donc pas décisif pour un changement périodique de source froide, la durée de vie étant de l'ordre de 200 ans à raison de 4 cycles de fonctionnement par an. A noter que la limite

Ind.A | retenue *historiquement* à l'ILL de  $5.10^{21}$  n<sub>r</sub>.cm<sup>-2</sup> est plus restrictive que celle préconisée *actuellement* par le RCCM-X qui est de  $28.10^{21}$  n<sub>r</sub>.cm<sup>-2</sup>.

L'irradiation du Zircaloy dans notre cas, ne peut être considérée comme un mode de dégradation très influent.

Probabilité apparition dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
<b>Maîtrisée</b>	1	1	2	1	3	3	2	3	3
<b>Non-Maîtrisée</b>	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.2 Effet des basses températures

Ind. A | L'enceinte Zircaloy est prévue pour fonctionner sous vide, par conséquent les transferts de T° entre la cellule aluminium et la paroi Zircaloy tendent vers 0. *La température de l'enceinte est donc égale à celle de l'eau lourde, soit environ 315 K sans gradient thermique dans l'épaisseur du Zircaloy. Les contraintes dues au gradient thermique sont donc totalement négligeable en situation normale.*

Ind. A | Cependant en cas de rupture brutale de la cellule aluminium, la paroi de l'enceinte Zircaloy se verrait mouillée par du deutérium liquide à la Température 24 K. Après 25 secondes, la température dans l'enceinte Zircaloy serait de 255 K et la température à l'extérieure de l'enceinte serait de 315 K, soit une différence de température de 60 K. Ce choc thermique induirait une contrainte mécanique dans la paroi Zircaloy de 2,7 Kg/mm<sup>2</sup> pour une valeur de Rm du Zircaloy à l'état fragilisé de 39 Kg/mm<sup>2</sup> (cf. AL 91 PCBT 69/1072 – *Projet et rapport de sûreté de la source froide du réacteur à haut flux*).

La résistance mécanique du Zircaloy à basse température n'est pas un critère aggravant.

	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Probabilité apparition / dégradation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.3 Fatigue thermique oligocyclique ou grand nombre de cycles

Compte tenu de la nécessité de garantir une isolation parfaite autour de la cellule aluminium, le vide dans l'enceinte Zircaloy est maintenu sans interruption.

En cas d'arrêt prématuré du réfrigérateur, la montée de la pression du deutérium (dans la cellule aluminium) entraîne une baisse de puissance contrôlée du réacteur, puis une chute des barres si le réfrigérateur n'est pas remis immédiatement en service. La température de la cellule reste ainsi à une valeur acceptable (*d'après le rapport RHF n° 28 du 17 avril 1974*). L'enceinte Zircaloy baignant dans l'eau lourde ne monte pas en température avec la cellule dans cette situation.

Ind.A

La fatigue thermique et le grand nombre de cycle ne sont pas des modes de dégradations influents dans notre cas.

	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Probabilité apparition / dégradation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3



#### 4.3.4 Comportement thermique des soudures hétérogènes

Aucune soudure hétérogène n'est présente sur l'enceinte Zircaloy. Cet aspect n'a donc pas lieu d'être étudié.

Probabilité apparition dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.5 Fatigue vibratoire

Selon le rapport RHF N°28, le couplage mécanique entre la cellule et son enceinte a été mesuré directement. Les conclusions sont les suivantes :

- La Fréquence propre est voisine de 4 Hz
- Le Système est fortement découplé
- Les Sollicitations dues aux vibrations mesurées sur le bloc pile sont très faibles voire nulles.

La probabilité d'apparition de dégradation liée à ce mode est donc quasi nulle.

Probabilité apparition dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.6 Pics locaux de pression

Ce mode de dégradation ne concerne pas l'enceinte Zircaloy qui est maintenue en permanence sous vide.

*Cependant en cas de rupture brutale de la cellule aluminium, la paroi de l'enceinte zircaloy se verrait mouillée par du deutérium liquide qui s'évaporerait très rapidement. La transitoire de pression dans l'enceinte vide bouchon conduit à la rupture du disque DR01 et donc à la mise en communication de cet espace avec le reste du circuit D<sub>2</sub>. La pression d'équilibre s'établit alors en dessous de 2 bar. Or dans le cadre de la défense en profondeur vis-à-vis de la sûreté, cette enceinte est conçue pour résister à la pression d'explosion d'un mélange stœchiométrique d'hydrogène et d'air, soit 19 bar absolus.*

*Ce mode de dégradation ne concerne donc pas l'enceinte Zircaloy même en cas de défaillance de la gourde. Il faut bien noter que dans ce cas l'équipement ne serait de toute façon plus remis en service et le deutérium serait évacué par l'intermédiaire du circuit de recompression.*

Ind.A


	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Probabilité apparition / dégradation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.7 Fluage

La température maximale pouvant être atteinte en peau de l'enceinte Zircaloy est de 122°C.

Cette situation concerne la phase de séchage du bidon réflecteur qui conduit à évacuer par rayonnement thermique la puissance dissipée due à la désactivation du <sup>95</sup>Zr.

Sur la base du Chapitre RB3216 du RCCM Rx et compte tenu de la température maxi de 122°C, il faudrait rester plus de 900 heures à cette T° pour commencer à se poser la question de l'incidence du fluage sur l'enceinte zircaloy.

 <b>NEUTRONS FOR SCIENCE</b> DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>							Page : 32/59	
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>							Ind. A	

Cette situation ne se rencontre que 48H tous les 12 ans. La probabilité d'apparition de dégradation liée à ce mode est donc quasi nulle.

	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Probabilité apparition dégradation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.8 Concentration de contraintes

L'enceinte en Zircaloy est liée au canal H1 du réacteur. Par les mouvements de ce dernier, dus aux différences de températures, des contraintes sont introduites dans l'enceinte en Zircaloy et c'est le tube intermédiaire qui est le plus sollicité.

La différence de température entre parois intérieure et extérieure est négligeable pendant le fonctionnement normal. Par contre, à la suite d'une rupture de la cellule modératrice (un accident qui n'a pas de conséquences dangereuses pour le réacteur), la différence de température peut atteindre 40°C. Ceci introduit des contraintes inférieures à  $3.10^7$  Pa.

Dans tous les cas, les contraintes totales restent d'un facteur 2 à 3 en dessous de la limite élastique garantie.

La concentration de contraintes n'est donc pas un facteur raisonnablement prévisible.

Probabilité apparition dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.9 Corrosion


Les sous-ensembles ont subi les traitements de surface appropriés, soit à la pureté du fluide à contenir (le deutérium doit contenir moins de 20 ppm d'impuretés), soit au milieu ambiant (eau désionisée de la piscine).

La corrosion n'est donc pas un facteur raisonnablement prévisible.

Probabilité apparition dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-Maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

#### 4.3.10 Vidange du compartiment en cas de rupture d'une tuyauterie

Ce mode de dégradation ne concerne pas le compartiment enceinte zircaloy.

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 34/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

#### 4.3.11 Conclusion facteur relatif à la sensibilité face à des dégradations potentielles pour le compartiment

La notation finale pour ce facteur est le maximum des facteurs obtenus pour chacun des modes de dégradation pour le compartiment considéré.

Le facteur relatif à la sensibilité face à des dégradations potentielles pour le compartiment enceinte Zircaloy (C4) est estimé à 1.


<b>Facteur relatif à la sensibilité face à des dégradations potentielles pour le compartiment enceinte Zircaloy est :</b>
<b>1</b>

#### 4.4 Résultat probabilité de défaillance

Conformément au §2.2.4 du courrier CODEP-DEP-2013-034129, le risque de défaillance à retenir est le maximum des résultats obtenus pour le facteur fabrication, le facteur état et le facteur dégradation.

Rappel des cotations obtenues pour l'ensemble fonctionnel :

	Enceinte Zy4 (C4)
Facteur fabrication	1
Facteur état	1
Facteur dégradation	1
Max retenu	1

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 35/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## V. Équivalence du niveau de sécurité avec les mesures compensatoires au regard des mesures de droit commun normalement prévues

### 5.1 Préambule

Comme indiqué dans le courrier CODEP-DEP-2013-034129 au §2.3.1, la méthode développée et proposée par le groupe d'exploitants est jugée acceptable par l'ASN pour justifier d'un niveau de sécurité au moins équivalent à l'application des mesures strictement réglementaires.

Cette méthode de cotation est présentée en annexe du courrier COR ARV 3SE INS 13-003 du groupe inter exploitant AREV/CEA/EDF/ILL/ITER


L'ensemble des modes de dégradation inventoriés précédemment conduisent globalement à quatre phénomènes de dégradation :

- La fissuration amorcée en surface extérieure
- La fissuration amorcée en surface intérieure
- La perte d'épaisseur amorcée en surface extérieure
- La perte d'épaisseur amorcée en surface intérieure

Vis à vis de chacun des 4 phénomènes de dégradation listés, la somme des performances globales des gestes retenus (gestes réglementaires GR effectués le cas échéant + gestes compensatoires GC effectués) doit être supérieure ou égale à la somme des performances globales obtenues par application de la réglementation (annexes 5 et 6 de l'arrêté ESPN) diminuées des performances globales des dispositions préventives DP.

$$\sum PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisé})} \geq \sum PG_{GR} - \sum PG_{DP}$$

L'application de cette méthode permet de déterminer et d'obtenir par application des gestes compensatoires, un niveau de sécurité au moins égal à celui obtenu par application des dispositions réglementaires.

 <b>NEUTRONS FOR SCIENCE</b> DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 36/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## 5.2 Performance gestes réglementaires

La cotation des mesures compensatoires est basée sur les tableaux de l'annexe 1 du courrier ASN COR ARV 3SE INS 13-003.

Les postulats suivants ont été pris en compte pour cette étude :

- Impossibilité pour le personnel d'approcher l'équipement du fait du niveau élevé de radioactivité
- Compartiments continuent remplis d'un fluide dont les caractéristiques sont telles qu'aucun phénomène ne peut se produire.
- La présence d'humidité dans les différents compartiments est totalement proscrite

La mesure étalon des performances réglementaires et celle tirée du tableau 5.2 du COR ARV 3SE INS 13-003.

<b>Tableau 5.2 : Récipients satisfaisant les conditions du point 3.4 de l'annexe 5 de l'arrêté ESPN</b> <b>Performances globales apportées par application des exigences réglementaires</b> <b>(annexes 5 et 6 de l'arrêté ESPN)</b>				
Phénomène	Détection Fissuration externe	Détection Fissuration interne	Détection Perte d'épaisseur externe	Détection Perte d'épaisseur interne
$\sum$ PG Récipients à RP 10 ans	$\sum$ PG1 = 9	$\sum$ PG2 = 7	$\sum$ PG3 = 11	$\sum$ PG4 = 8

Tableau 1

### Remarque :

L'enceinte Zircaloy a été conçue en SHI pour résister à la pression de 19 bars. L'épreuve réglementaire dans le cadre de la requalification exige une pression de requalification de  $1,2 \times 4 = 4,8$  bar.

Le ratio entre la pression d'épreuve et la pression de conception est quasiment égal à 4.

Ce point limite fortement la performance forfaitaire de la requalification périodique réglementaire.



### 5.3 Compartiment enceinte Zircaloy (C4)

#### 5.3.1 Performance gestes compensatoires

Les gestes compensatoires identifiés au tableau 6 de l'annexe 1 du courrier COR ARV 3SE INS 13-003 et retenus par l'ILL pour ce compartiment sont :

- GC1 : suivi permanent des paramètres physiques internes (pression, température). Par conception, en exploitation les paramètres physiques internes sont quasi constants. En effet la pression est un vide secondaire de l'ordre de  $10^{-6}$  mbar absolu. Un seuil de pression haute ( $10^{-4}$  mbar) est retransmis en salle de contrôle. La température est fixée par le changement d'état du deutérium liquide/gaz autour de 24K sur la paroi de la cellule et par l'eau lourde du réacteur à 50 °C sur la paroi de la chaussette Zircaloy. Une analyse périodique par spectrométrie de masse permet d'analyser les pressions de gaz résiduels dans le vide et détecter la présence d'humidité à un niveau très bas.
- GC2 : Test d'étanchéité par suivi de pression interne. Le volume est isolé en permanence et seule une pompe ionique assure le pompage. Toute fuite de pression est décelée par une remontée de vide.

Tableau 2

	Détection fissuration externe	Détection fissuration interne	Détection perte épaisseur externe	Détection perte épaisseur interne
GC1 : suivi permanent des paramètres physiques internes	PI1=1 PG1=4	PI2=1 PG2=4	PI3=1 PG3=4	PI4=1 PG4=4
GC2 : Test d'étanchéité par suivi de pression interne	PI1=1 PG1=4	PI2=1 PG2=4	PI3=1 PG3=4	PI4=1 PG4=4
$\sum$ PG GC proposés	$\sum$ PG1 <sub>GC</sub> =8	$\sum$ PG2 <sub>GC</sub> =8	$\sum$ PG3 <sub>GC</sub> =8	$\sum$ PG4 <sub>GC</sub> =8

#### 5.3.2 Performance des dispositions préventives

Les dispositions préventives identifiées au tableau 7 de l'annexe 1 du courrier COR ARV 3SE INS 13-003 et retenues par l'ILL pour ce compartiment sont :

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A


Ind.A

- DP1 : Maitrise des caractéristiques chimiques du fluide externe. Le fluide extérieur au compartiment enceinte Zircaloy est l'eau lourde du compartiment bloc pile dont les caractéristiques sont maîtrisées et contrôlées *en permanence, en particulier la mesure du pH et de la conductivité de l'eau lourde, conformément à la RGE n° 0. Ces informations sont reportées sur le système de traitement des alarmes, en salle de contrôle, sur la Baie de Signalisation BS5 bloc 1 verrines 14 et 7. Les agents de quart les relèvent également à chaque poste. Enfin un contrôle indépendant du pH et de la conductivité est effectué chaque semaine par le chimiste de la DRe. D'autre part, chaque semaine également, une analyse radiologique est effectuée par le service de radioprotection et de surveillance de l'environnement. Cette analyse, par spectrométrie gamma, est de fait équivalente à une analyse par activation, donc extrêmement sensible. Elle permet de contrôler, à très bas niveau, la pureté de l'eau lourde. Aucune perte d'épaisseur n'est attendue.*

- DP2 : Retour d'expérience et étude d'expert (rapport RHF n° 517) montrant qu'aucun phénomène de dégradation non maîtrisé n'est à craindre. Le Zircaloy est utilisé dans le réacteur depuis l'origine (1ère divergence en 1971) pour ses propriétés physiques mécaniques et sa tenue au flux. Le retour d'expérience sur ces pièces, notamment la partie basse de la cheminée et le porte combustible montre qu'aucune dégradation n'est observable suite à leur démontage. Il en est de même pour la première source froide verticale que la SFV3 a remplacé. De nombreuses études d'expert (rapport RHF n° 517) ont montrées le bon comportement du Zircaloy pour des conditions d'exploitations relativement faibles que sont celles du RHF (température d'eau de 50°C, peu de neutrons rapides, pression faible).

Tableau 3

	Détection fissuration externe	Détection fissuration interne	Détection perte épaisseur externe	Détection perte épaisseur interne
DP1 : maîtrise des caractéristiques chimique du fluide externe	PG1=0	PG2=0	PG3=3	PG4=0
DP2 Retour d'expérience et étude d'expert montrant qu'aucun phénomène de dégradation non maîtrisé n'est à craindre	PG1=3	PG2=3	PG3=3	PG4=3
$\sum$ PG DP proposés	$\sum$ PG1 <sub>DP</sub> =3	$\sum$ PG2 <sub>DP</sub> =3	$\sum$ PG3 <sub>DP</sub> =6	$\sum$ PG4 <sub>DP</sub> =3

 <b>NEUTRONS FOR SCIENCE</b> DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 39/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

### 5.3.3 Analyses des performances et des niveaux de sécurité :

L'analyse des niveaux de sécurité apportés par les dispositions retenues (exigences réglementaires conservées + disposition compensatoires effectuées) sont à comparer avec les niveaux de sécurité apportés par application de la réglementation (exigences réglementaires strictes) diminués des dispositions préventives.

Cette inégalité à respecter peut se présenter sous la forme suivante :


$$\sum PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisé})} \geq \sum PG_{GR} - \sum PG_{DP}$$

#### 5.3.3.1 Performances des dispositions retenues

Dans une première approche, nous considérons qu'aucun geste réglementaire ne peut être réalisé.

Tableau 4

	Détection fissuration externe	Détection fissuration interne	Détection perte épaisseur externe	Détection perte épaisseur interne
GR réalisés	PG1=0	PG2=0	PG3=0	PG4=0
GC proposés (tableau 2)	PG1 <sub>GC</sub> =8	PG2 <sub>GC</sub> =8	PG3 <sub>GC</sub> =8	PG4 <sub>GC</sub> =8
$\sum PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisés})}$	PG1=8	PG2=8	PG3=8	PG4=8

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 40/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

### 5.3.3.2 Performances des dispositions réglementaires diminuées des dispositions préventives

Tableau 5


	Détection fissuration externe	Détection fissuration interne	Détection perte épaisseur externe	Détection perte épaisseur interne
GR (tableau 1)	PG <sub>1GR</sub> =9	PG <sub>2GR</sub> =7	PG <sub>3GR</sub> =11	PG <sub>4GR</sub> =8
DP proposés (tableau 3)	PG <sub>1DP</sub> =3	PG <sub>2DP</sub> =3	PG <sub>3DP</sub> =6	PG <sub>4DP</sub> =3
$\sum PG_{GR} - \sum PG_{DP}$	PG <sub>1</sub> =6	PG <sub>2</sub> =4	PG <sub>3</sub> =5	PG <sub>4</sub> =5

### 5.3.4 Comparaisons des performances

Cette comparaison est faite par phénomène de dégradation :

- Détection fissuration externe :  $PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisés})} = 8 \geq PG_{GR} - PG_{DP} = 6$
- Détection fissuration interne :  $PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisés})} = 8 \geq PG_{GR} - PG_{DP} = 4$
- Détection perte épaisseur externe :  $PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisés})} = 8 \geq PG_{GR} - PG_{DP} = 5$
- Détection perte épaisseur interne :  $PG_{(GC \text{ proposés} + GR \text{ réalisés})} = 8 \geq PG_{GR} - PG_{DP} = 5$

Les inéquations sont respectées et valident que les dispositions retenues apportent un niveau de sécurité au moins équivalent aux exigences de l'arrêt.

	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 41/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## 5.4 Conclusion niveau de sécurité

Les estimations de probabilité de défaillance obtenues pour l'enceinte externe Zircaloy, compartiment C4, sont évaluées à un niveau faible.

Conformément au paragraphe 2.3.2 du courrier ASN CODEP-DEP-2013-034129, la méthode utilisée est suffisante pour démontrer que le niveau de sécurité pour le compartiment enceinte Zircaloy (C4) est conforme.

Ind.A

*Or, il a été démontré au § IV que le « maintien du niveau de sécurité de l'équipement vis-à-vis du risque de défaillance » est assuré par la double enveloppe en zircaloy (« chaussette »). La probabilité de défaillance de celle-ci étant faible la méthode utilisée est donc bien conforme pour l'équipement fonctionnel SFV.*

## 6 Evaluation des conséquences de défaillance

Dès l'origine du réacteur, l'ensemble fonctionnel source froide verticale a été pris en compte dans les scénarios d'accidents vis-à-vis de la sûreté.

Le chapitre 31 du nouveau rapport de sûreté relatif à l'analyse de sûreté par conditions de fonctionnement, précise les conséquences engendrées suite à rupture de la cellule aluminium quel que soit l'état de fonctionnement du réacteur associé.


Les scénarios envisagés pour les sources froides de l'ILL et pris en compte au travers du rapport de sûreté sont les suivants :

- Rupture de la gourde aluminium
- bouchage du thermosiphon
- perte du circuit cryogénique sur les sources froides

Ces trois scénarios ainsi que leurs conséquences sont détaillés dans les tableaux ci-après extraits du rapport de sûreté : → Annexe 3

### 6.1 Facteur conséquence sur les travailleurs.

La défaillance du compartiment cellule ou du tube TGV n'entraîne pas de conséquences en dehors de l'enceinte Zircaloy.

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 42/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

De par conception, même une vaporisation du deutérium liquide dans le compartiment enceinte Zircaloy n'entraîne pas d'évacuation de fluide vers l'extérieur.

La défaillance des compartiments cellule et tube TGV n'a pas de conséquence sur les travailleurs.

La défaillance du compartiment enceinte Zircaloy qui est en permanence sous vide n'entraîne pas de conséquence sur le travailleur. Elle provoque l'arrêt de l'installation.

## 6.2 Facteur conséquence sur l'environnement.

Aucune des défaillances ne conduit à un rejet de fluide radioactif vers l'extérieur.

## 6.3 Facteur conséquence sur d'autre EIP.

La défaillance d'un des compartiments n'a pas de conséquence sur d'autre EIP.

Dans le cadre de la défense en profondeur, le compartiment enceinte Zircaloy a été conçu pour résister à l'explosion d'un mélange stœchiométrique de deutérium et d'oxygène afin de ne pas impacter le cœur dans cette éventualité.

## 7 Conclusions

La démarche présentée ci avant s'appuyant sur la méthodologie proposées par l'ASN dans son courrier CODEP-DEP-2013-034129 nous permet de demander des conditions particulières d'application du titre III du décret 99-1046 au récipient « bloc pile » et son dispositif expérimental SFV3 (compartiments C4, C5 et C6).

En rappel, l'enceinte Zircaloy a été conçue pour résister à une pression interne de 19 bar, largement supérieure à la pression de service (PS) du compartiment. Ce point est à prendre en compte dans la prise en compte de la robustesse de la disposition préventive n°2.

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

En pratique, ces aménagements sont rappelés ci-après en trois types d'opérations :

- Opérations d'exploitation, d'entretien et de surveillance,
- Inspections périodiques sous la responsabilité de l'exploitant
- Requalifications périodiques sous la responsabilité d'un OHA.

Opérations d'exploitation, d'entretien et de surveillance

Les POES mis en œuvre, prennent notamment en compte les éléments d'engagement pris dans le présent RHF 482 Ind. A. Pour rappel, les opérations particulières proposées sont :

- Suivi permanent des paramètres physiques internes du compartiment C4 : mesure de vide secondaire et mesure de température ;
- Test d'étanchéité par suivi de pression interne ;
- Maîtrise des caractéristiques chimiques du fluide interne au compartiment C4 ;
- Maîtrise des caractéristiques chimiques du fluide externe au compartiment C4 ;
- Maîtrise et maintien des paramètres d'exploitation permettant de garantir le respect des plages de fonctionnement prises en compte dans l'étude d'expert ;

Ind. A

L'ensemble de ces données sont classées et archivées dans le dossier d'exploitation.

Inspections périodiques sous la responsabilité de l'exploitant

Les inspections périodiques, compte tenu de notre évaluation des mécanismes d'endommagements possible et de notre REX pour le compartiment C4, seront réalisées avec une périodicité fixée à 40 mois. L'inspection périodique sera réalisée sous la responsabilité de l'exploitant et comprendra :

- Une vérification externe du compartiment C4 en partie inférieure (dans le bloc pile) réalisée au titre de la vérification intérieure du compartiment C11 et de la paroi séparatrice entre C4 et C11.

Requalification périodiques sous la responsabilité d'un OHA.

L'intervalle des requalifications périodiques concernant l'équipement « bloc pile » multi-compartiments, ne contenant pas de fluide toxique ou corrosif pour les parois est fixé à 10 ans. La requalification périodique sera réalisée sous la responsabilité d'un OHA et comprendra entre autre, pour l'ensemble fonctionnel « Source froide verticale » / pour le compartiment C4 considéré :

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**


Ind. A

- Une vérification externe du compartiment C4 en partie inférieure réalisée au titre de la vérification intérieure du compartiment C11 et de la paroi séparatrice entre C4 et C11.
- La vérification des éléments définis dans le présent document (RHF 482) concernant :
  - Demandes de dispenses de gestes réglementaires pour :
    - Vérifications internes tous les 40 mois du compartiment C4
    - Vérifications externes des accessoires sous pression DR01 et DR02 raccordés au compartiment C4 tous les 40 mois.
    - Vérification interne tous les 120 mois du compartiment C4
    - Epreuve hydraulique tous les 120 mois du compartiment C4
  - Respect des conditions particulières proposées en regard des dispenses ci-dessus :
    - Suivi permanent des paramètres physiques internes du compartiment C4 ;
    - Test d'étanchéité par suivi de pression interne ;
    - Maîtrise des caractéristiques chimiques du fluide interne au compartiment C4 ;
    - Maîtrise des caractéristiques chimiques du fluide externe au compartiment C4 ;
    - Maîtrise et maintien des paramètres d'exploitation permettant de garantir le respect des plages de fonctionnement pris en compte dans l'étude d'expert.
- La vérification de l'adéquation et de l'existence du POES pour le compartiment C4 lié à l'ensemble fonctionnel « Source froide verticale » et pour les autres compartiments de l'équipement « bloc pile » impactés (C11, ...)
- La vérification de la présence des éléments de preuve attendus par le RHF 482 ind. A et les POES dans le dossier d'exploitation.

Ind.A


A la fois dans le cadre de cette analyse mais aussi dans le cadre d'une maîtrise des risques industriels d'exploitation, l'ILL envisage d'ici 2021 de remplacer l'ensemble fonctionnel source froide verticale par un ensemble neuf de rechange. Cet ensemble fonctionnel doit



 <p>NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR</p>	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 45/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

être fabriqué dans le nouveau cadre réglementaire d'une réparation d'un ESPN et de la fabrication de composants de rechange neufs.

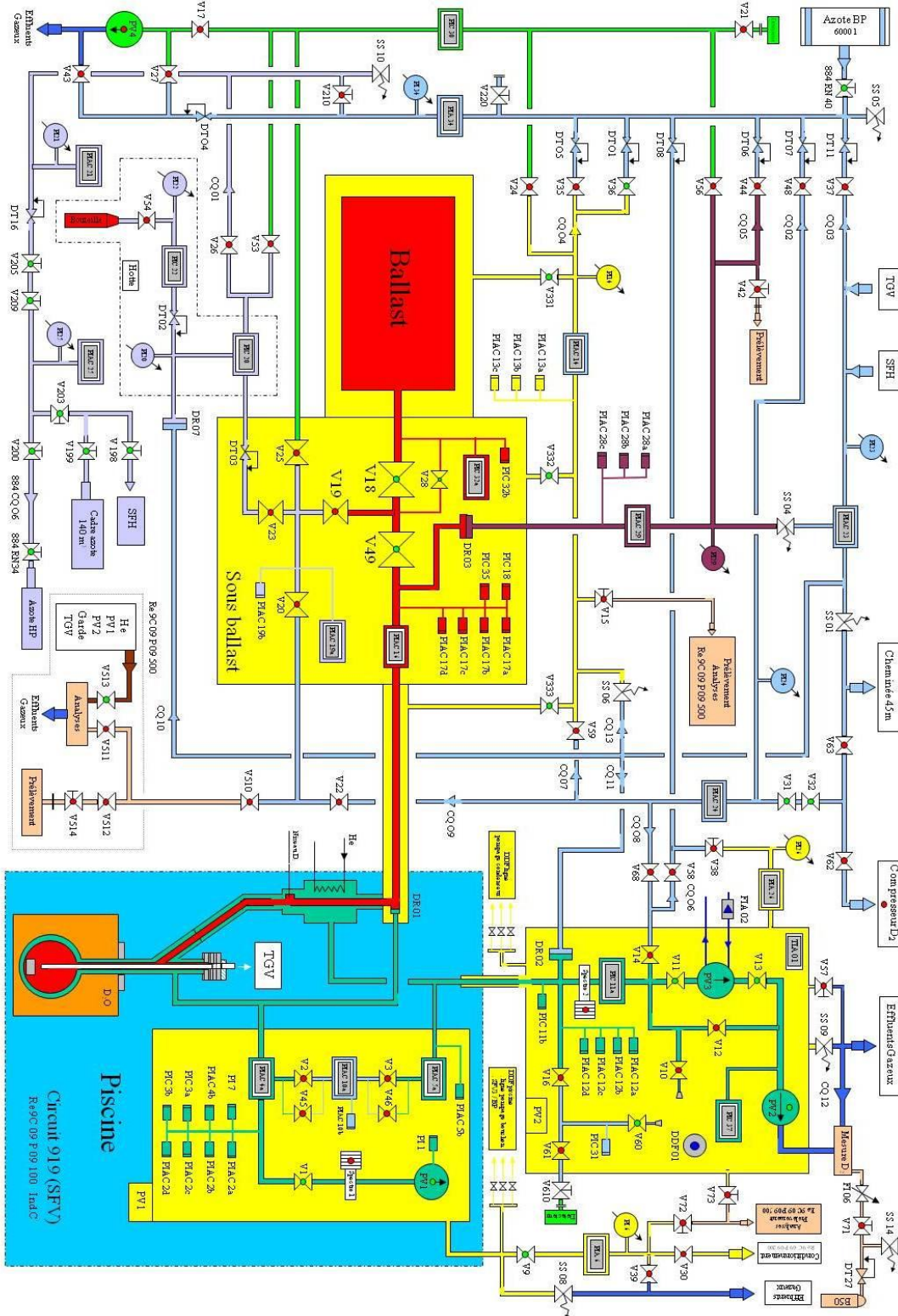
Conformément aux directives du courrier CODEP-DEP-2013-034129 la réévaluation de l'analyse sera réalisée avant chaque requalification.

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 46/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## ANNEXE 1

Schéma PID source froide verticale

TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT  
SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)



 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 48/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## ANNEXE 2

Schéma PID source froide verticale : conditionnement tube  
TGV

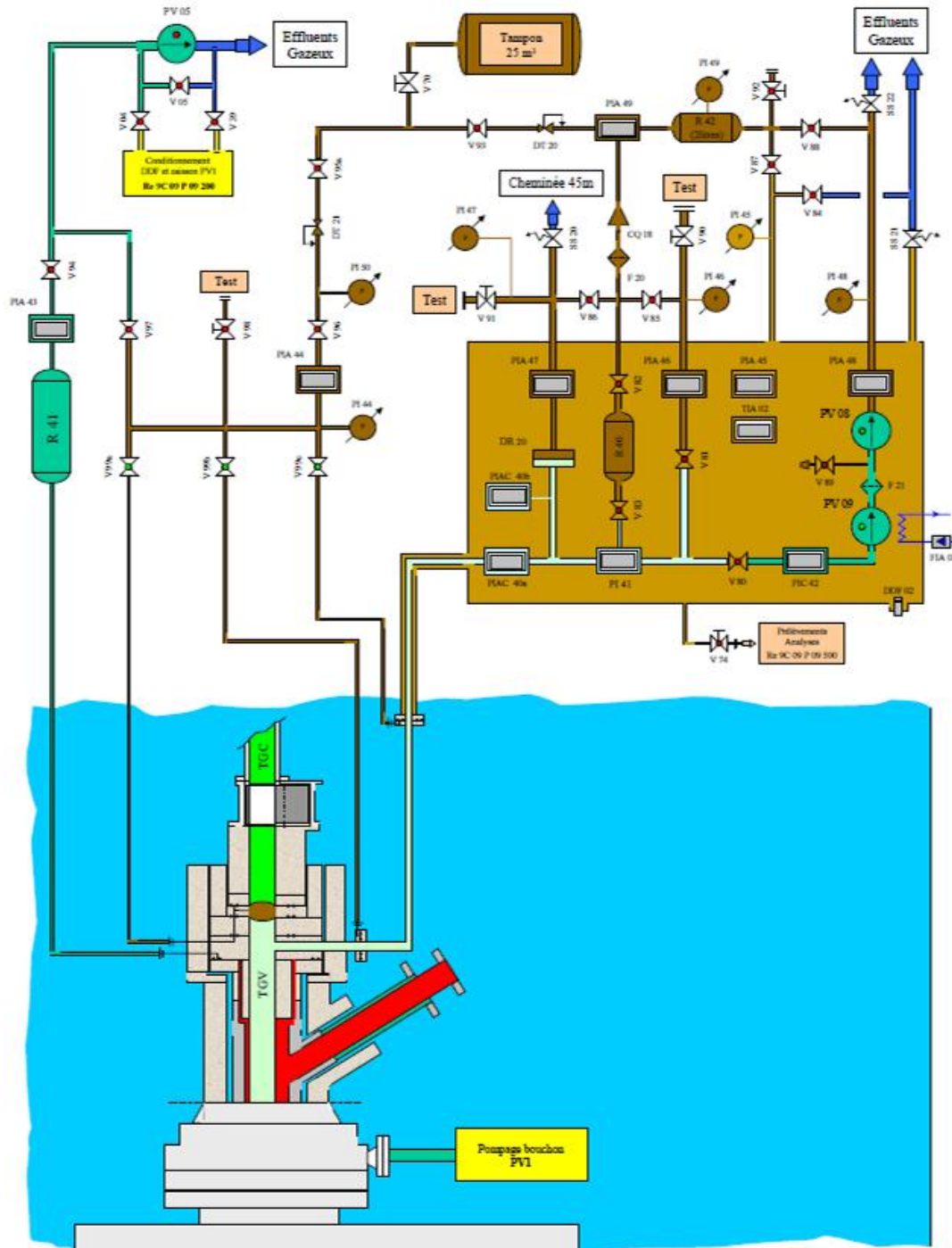



Schéma circuit synoptique TGV

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 50/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

## ANNEXE 3

Fiches analyse des conditions de fonctionnement extraites du rapport de sureté.

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

IDENTIFICATION DE L'EVENEMENT

CF2.DE.1

**Procédé** : dispositifs expérimentaux.

**Systeme fonctionnel** : sources froides.

**Evénement Initiateur Hypothétique** : rupture de la cellule (« gourde ») aluminium.

**Etat réacteur associé** : tous états.

CLASSEMENT DE L'EVENEMENT

**Catégorie de dimensionnement** : CF2.

**Eléments particuliers** : Les essais effectués sur des échantillons en A5 n'ont montré aucune redistribution du silicium formé sous irradiation. Cette formation de silicium n'a entraîné aucune modification des propriétés mécaniques, en particulier allongement à la rupture.

**Justification du classement** : la cellule en aluminium n'a pas de durée de vie spécifiée et malgré les « chargements » particuliers, irradiation, thermique, pression, elle n'est pas visitable pour inspecter régulièrement son état. Il n'est donc pas possible de considérer cette barrière autrement que comme une ligne de défense faible. La rupture est donc bien susceptible de se produire dans la vie de l'installation ce qui justifie le classement en CF2.

ANALYSE DU SCENARIO

**Fonction de sûreté impactée** : confinement.

**Lignes de défense sollicitées** :

- **Détection** :
  - SFV : mesures de pression « vide bouchon » 919 PIAC 02 a, b, c ;
  - SFH : mesures de pression « vide doigt de gant » 970 MP 26 a, b, c ;
  - SFH : mesures de vide 970 MP 36 et de pression 970 MP 22 ;
- **Confinement** :
  - SFV : enceinte Zircaloy « chaussette » ;
  - SFH : doigt de gant H5 en zircaloy, disque DR02, soupape 970 SS01 et ligne « tarée » ;
- **Arrêt d'urgence** :
  - circuits de sécurité ;
  - barres de sécurités ;

**Traitement** : La rupture de la cellule implique la vaporisation brutale du deutérium liquide.

Les essais effectués à l'origine montrent que la contrainte thermique, due à l'écoulement de

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

deutérium liquide sur l'enceinte en zircaloy, est faible (quelques dizaines de °C) donc sans impact sur la tenue mécanique de cette enceinte.

- SFV : Un éventuel transitoire de pression dans l'enceinte vide bouchon, en cas de vaporisation très brutale, conduit à la rupture du disque DR01 et donc à la mise en communication de cet espace avec le reste du circuit D<sub>2</sub>.
- SFH : Un éventuel transitoire de pression dans l'enceinte vide doigt de gant, en cas de vaporisation très brutale, conduit à la rupture de la membrane du disque DR02 et donc à un rejet partiel du deutérium jusqu'à revenir à la pression de déclenchement de la soupape, soit environ 0,28 bars relatifs.

Les études montrent par ailleurs que le deutérium qui se trouve dans l'enceinte à vide permet un refroidissement suffisant de la cellule pour limiter sa température à moins de 350 °C donc bien inférieure à la température de fusion de l'aluminium, même en l'absence d'arrêt du réacteur.

Le déclenchement en 2/3 de l'AU sur seuil haut pression, égal à 0,02 mbar sur la SFV et 1,33 mbar sur la SFH n'est donc pas requis pour des raisons de sûreté dans ce scénario.

**Etat final** : circuit vide bouchon ou vide doigt de gant en équilibre avec le circuit D<sub>2</sub>, donc légèrement inférieur à 2 bars relatif sur la SFV et 2,4 bars relatifs sur la SFH.

**ANALYSE COMPLEMENTAIRE EN APPLICATION DU CDU**

**Détections sollicitées** : Les détections 919 PIAC 02 a, b, c et 970 MP 26 a, b, c déclenchent systématiquement en 2/3, conformes au critère de défaillance unique, et font l'objet de CEP, avant démarrage. Les détections 970 MP 22 et 36 sont redondantes et « hétérogènes » donc également conforme au critère de défaillance unique.

**Barrières de confinement sollicitées :**

- SFV :
  - L'enceinte zircaloy, la « chaussette », forme une double enveloppe passive autour de la gourde. Elle n'est donc pas soumise au critère de défaillance unique. L'isolement de la portion de circuit de pompage du vide bouchon, située dans PV2, pompage primaire et secondaire effectué avant mise en froid de la source, est assuré par deux vannes en série, donc conforme au critère de défaillance unique ;
  - Le disque de rupture DR01 est constitué d'une feuille mince, 0,05 mm en AG3. Elle rupte pour une surpression de 300 mbar côté vide bouchon par rapport à la pression du circuit D<sub>2</sub>, soit pour une pression absolue de 1,8 bar en fonctionnement. Cette fonction est strictement passive à la sollicitation. Ce disque n'est donc pas soumis au CDU.
- SFH :
  - Le doigt de gant H5 forme une double enveloppe passive autour de la cellule. il n'est donc pas soumis au critère de défaillance unique. L'isolement du circuit de pompage du vide doigt de gant, située dans le caisson de pompage, est assuré de façon redondante, donc conforme au CDU, par la fermeture des vannes 970 V 25, sur



**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

déclenchement de la mesure de vide 970 MP 36, et 970 V 21, sur déclenchement de la mesure de pression 970 MP 22 ;

- Le disque de rupture DR02, constitué d'une feuille inox, rupte pour une surpression de 3,7 bars relatifs. Cette fonction est strictement passive à la sollicitation. Ce disque n'est donc pas soumis au critère de défaillance unique ;
- La ligne tarée est surveillée en permanence par une mesure de pression PIAC 23. Elle aboutit en haut de la cheminée de 45 m pour éviter tout risque d'explosion. Lorsqu'elle joue son rôle d'évacuation de la surpression à la cheminée, elle n'est sollicitée que pendant quelques minutes, donc le critère de défaillance unique passif ne s'applique pas. Par contre si l'on applique le CDU à la soupape 970 SS01, ou si l'on fait une étude probabiliste de sa défaillance à l'ouverture (soupape à joint organique « collée ») le rejet du deutérium dans le hall réacteur ne peut être exclu. Il est donc envisagé de mettre une deuxième soupape, 970 SS01 bis, en parallèle de la première en redondance.

**Arrêt d'urgence sollicité** : il est déclenché en parallèle par l'ouverture du relais final de chacun des deux circuits de sécurité. Il est donc totalement conforme au critère de défaillance unique. Il implique de manière passive la chute des cinq barres de sécurité. Celles-ci chutent sous l'action de la gravité en étant propulsées par l'air comprimé situé dans le vérin pneumatique de la partie haute de la barre. La chute de seulement 4 des 5 barres de sécurité est largement suffisante pour permettre l'arrêt du réacteur.

Le déclenchement de l'AU dès le début de la vaporisation du deutérium « gomme » totalement l'aspect variation de réactivité, valeur enveloppe de -130 pcm sur la SFV, due à la disparition du D<sub>2</sub>. Cette variation de réactivité étant relativement lente, elle serait de toute façon « absorbée » par le pilotage automatique.

**Gravité des conséquences radiologiques :**

- SHV : sans conséquence radiologique même en appliquant le CDU ;
- SFH : le rejet d'environ 60 % du tritium (1,4 bar des 2,4 bars initiaux), soit moins de 60 TBq, est inférieur à l'autorisation annuelle, donc de gravité G1 compatible avec la catégorie CF2.

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

IDENTIFICATION DE L'EVENEMENT

CF2.DE.2

**Procédé** : dispositifs expérimentaux.

**Système fonctionnel** : sources froides.

**Evénement Initiateur Hypothétique** : bouchage du thermosiphon.

**Etat réacteur associé** : tous états.

CLASSEMENT DE L'EVENEMENT

Catégorie de dimensionnement : CF2.

**Éléments particuliers** : ce bouchage peut avoir deux causes principales :

solidification des impuretés contenues dans le D<sub>2</sub> ;

solidification du D<sub>2</sub> en cas de panne sur la boucle de régulation cryogénique hélium.

Justification du classement :

Impuretés : les procédures AQ 06-191 (SFV) et AQ 06-057 (SFH) impose une mesure des impuretés des bouteilles de deutérium utilisées avant remplissage des sources froides. De façon pénalisante on retient CF2 pour la double défaillance suivante : impuretés dans une bouteille neuve et défaillance d'application de la procédure ;

Solidification du D<sub>2</sub> : cela nécessite systématiquement une double défaillance sur la boucle de régulation du réfrigérateur. Ce circuit n'étant pas classé on considère de façon pénalisante qu'une double défaillance est de catégorie CF2.

ANALYSE DU SCENARIO

**Fonction de sûreté impactée** : confinement.

**Lignes de défense sollicitées** :

▪ **Détection** :

- SFV : mesures de pression « vide bouchon » 919 PIAC 02 a, b, c ;
- SFH : mesures de pression « vide doigt de gant » 970 MP 26 a, b, c ;
- SFH : mesures de vide 970 MP 36 et de pression 970 MP 22 ;

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

- **Confinement :**
  - SFV : enceinte Zircaloy « chaussette »;
  - SFH : doigt de gant H5 en Zircaloy.
- **Arrêt d'urgence :**
  - circuits de sécurité ;
  - barres de sécurités ;

**Traitement :** Le bouchage du thermosiphon entraîne la rupture de la cellule. En effet le deutérium qu'elle contient s'évapore en permanence sous l'action du chauffage nucléaire. Le blocage de l'écoulement du deutérium liquide va alors conduire à l'assèchement de la cellule et donc à sa rupture par défaut de refroidissement. Par contre, la cellule étant vide, sa rupture ne peut pas générer de transitoire de pression conduisant à la rupture des disques DR01 (SFV) et DR02 (SFH).

Les études montrent par ailleurs que le deutérium qui se trouve dans l'enceinte à vide, après la rupture de la cellule, permet un refroidissement suffisant de la cellule pour limiter sa température à moins de 350 °C donc bien inférieure à la température de fusion de l'aluminium, même en l'absence d'arrêt du réacteur.

Le déclenchement en 2/3 de l'AU sur seuil haut pression, égal à 0,02 mbar sur la SFV et 1,33 mbar sur la SFH n'est donc pas requis pour des raisons de sûreté dans ce scénario.

**Etat final :** circuit vide bouchon ou vide doigt de gant en équilibre avec le circuit D<sub>2</sub>, donc légèrement inférieur à 2 bars relatif sur la SFV et 2,4 bars relatifs sur la SFH.

ANALYSE COMPLEMENTAIRE EN APPLICATION DU CDU

**Détections sollicitées :** Les détections 919 PIAC 02 a, b, c et 970 MP 26 a, b, c déclenchent systématiquement en 2/3, conformes au critère de défaillance unique, et font l'objet de CEP, avant démarrage. Les détections 970 MP 22 et 36 sont redondantes et « hétérogènes » donc également conforme au critère de défaillance unique.

**Barrières de confinement sollicitées :**

- SFV : l'enceinte zircaloy, la « chaussette », forme une double enveloppe passive autour de la gourde. Elle n'est donc pas soumise au critère de défaillance unique. L'isolement de la portion de circuit de pompage du vide bouchon, située dans PV2, pompage primaire et secondaire effectué avant mise en froid de la source, est assuré par deux vannes en série, donc conforme au critère de défaillance unique.
- SFH : Le doigt de gant H5 forme une double enveloppe passive autour de la cellule. il n'est donc pas soumis au critère de défaillance unique. L'isolement du circuit de pompage du vide doigt de gant, située dans le caisson de pompage, est assuré de façon redondante, donc conforme au critère de défaillance unique, par la fermeture des vannes 970 V 25, sur déclenchement de la mesure de vide 970 MP 36, et 970 V 21, sur déclenchement de la mesure de pression 970 MP 22.

 <p>NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR</p>	<h2>Rapport RHF n° 482</h2>	Page : 56/59
	<p><b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b>  <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b></p>	Ind. A

**Arrêt d'urgence sollicité** : il est déclenché en parallèle par l'ouverture du relais final de chacun des deux circuits de sécurité. Il est donc totalement conforme au critère de défaillance unique. Il implique de manière passive la chute des cinq barres de sécurité. Celles-ci chutent sous l'action de la gravité en étant propulsées par l'air comprimé situé dans le vérin pneumatique de la partie haute de la barre. La chute de seulement 4 des 5 barres de sécurité est largement suffisante pour permettre l'arrêt du réacteur.

Le déclenchement de l'AU dès le début de la vaporisation du deutérium « gomme » totalement l'aspect variation de réactivité, valeur enveloppe de -130 pcm sur la SFV, due à la disparition du D<sub>2</sub>. Cette variation de réactivité étant relativement lente, elle serait de toute façon « absorbée » par le pilotage automatique.

**Gravité des conséquences radiologiques** : sans conséquence radiologique même en appliquant le Critère de Défaillance Unique.

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

IDENTIFICATION DE L'EVENEMENT

CF2.DE.4

**Procédé** : dispositifs expérimentaux.

**Système fonctionnel** : sources froides.

**Evénement Initiateur Hypothétique** : surpression dans le circuit D<sub>2</sub>.

**Etat réacteur associé** : tous états.

CLASSEMENT DE L'EVENEMENT

**Catégorie de dimensionnement** : CF2.

**Eléments particuliers** : deux initiateurs peuvent amener une surpression dans le circuit D<sub>2</sub> :

- une fermeture intempestive d'une des deux vannes V18 ou V49 pendant le réchauffage de la source ;
- une fuite dans le condenseur du circuit He dans le circuit D<sub>2</sub> qui, le réfrigérateur s'arrêtant, peut entraîner une pression d'équilibre de l'ordre de 6 bars.

**Justification du classement** : Les vannes étant bi-stable et verrouillées mécaniquement la probabilité est faible d'avoir une fermeture intempestive pendant la phase de réchauffage.

Par contre le condenseur étant très froid, avec de nombreux cyclage, on retient, sur la SFV, conventionnement et de façon pénalisante la rupture d'un tube particulier en CF3 et donc pour des raisons probabilistes liées au nombre de ces tubes une rupture de l'un de ceux-ci en CF2.

Par analogie cette classification est conservée sur la SFH bien que le condenseur soit un condenseur à plaques.

ANALYSE DU SCENARIO

**Fonction de sûreté impactée** : confinement.

**Lignes de défense sollicitées** :

- **Détection** :
  - SFV : mesures de pression deutérium 919 PIAC 17 a, b, c ;
  - SFV : mesures de pression inter-membrane 919 PIAC 28 a, b, c ;
  - SFH : mesures de pression deutérium 971 PIAC 17 a, b, c ;
  - SFH : mesures de pression inter-membrane 971 PIAC 28 a, b, c ;

**TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT**  
**SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)**

Ind. A

- **Arrêt d'urgence :**
  - circuits de sécurité ;
  - barres de sécurités ;
- **Confinement :**
  - organes de sécurité : disque de rupture (DR03), soupapes SS 04 et SS01 qui protègent le circuit D<sub>2</sub> d'une surpression ;
  - ligne « tarée » en légère surpression et inertée en permanence en azote.

**Traitement :** La surpression dans le circuit D<sub>2</sub> est évacuée à la cheminée de 45 m via la ligne tarée grâce à l'ouverture des organes de sécurité DR03 (membrane inox) et aux soupapes SS04 et SS01. Cela conduit à un rejet intempestif d'une fraction de l'activité tritium contenue dans la source froide.

La montée en pression dans le circuit D<sub>2</sub> et dans l'espace inter-membrane déclenche par ailleurs une chute de barres sur seuil très haut en 2/3 à 1,8 bar sur les 919 PIAC 17 ou 2,35 bars sur les 971 PIAC 17 et sur seuil très haut en 2/3 à 1,4 bar sur les 919 PIAC 28.

Comme dans les scénarii précédents, le non arrêt du réacteur conduit à l'assèchement de la cellule et donc à sa destruction par défaut de refroidissement, situation sans conséquence radiologique. Le déclenchement en 2/3 de l'AU n'est donc pas requis pour des raisons de sûreté dans ce scénario.


**Etat final :** réacteur à l'arrêt. Source réchauffée et isolée par fermeture de la soupape SS04.

ANALYSE COMPLEMENTAIRE EN APPLICATION DU CDU

**Détections sollicitées :** Les détections 919 ou 971 PIAC 17 a, b, c et 919 ou 971 PIAC 28 a, b, c déclenchent systématiquement en 2/3, donc conformes au critère de défaillance unique, et font l'objet de CEP, avant démarrage.

**Barrières de confinement sollicitées :**

- Le disque de rupture est constitué d'une feuille mince en inox. Elle se rompt sur une surpression de 3,5 (SFV) et 3,7 (SFH) bars relatifs côté circuit D<sub>2</sub>. Cette fonction est strictement passive à la sollicitation. Ce disque n'est donc pas soumis au critère de défaillance unique.
- La ligne tarée est surveillée en permanence par une mesure de pression PIAC 23. Elle aboutit en haut de la cheminée de 45 m pour éviter tout risque d'explosion. Lorsqu'elle joue son rôle d'évacuation de la surpression à la cheminée, elle n'est sollicitée que pendant quelques minutes, donc le critère de défaillance unique passif ne s'applique pas. Par contre si l'on applique le CDU à la soupape SS04, ou si l'on fait une étude probabiliste de sa défaillance à l'ouverture (soupape « collée ») le rejet du deutérium dans le hall réacteur ne peut être exclu. Il est donc envisagé de mettre une deuxième soupape SS04 bis en parallèle de la première en redondance sur chacune des deux sources froides.

 NEUTRONS FOR SCIENCE DIVISION REACTEUR	<b>Rapport RHF n° 482</b>	Page : 59/59
	<b>TITRE : DEMANDE D'AMENAGEMENT</b> <b>SOURCE FROIDE VERTICALE (SFV3) (COMPARTIMENTS C4, C5 ET C6)</b>	Ind. A

**Arrêt d'urgence sollicité** : il est déclenché en parallèle par l'ouverture du relais final de chacun des deux circuits de sécurité. Il est donc totalement conforme au critère de défaillance unique. Il implique de manière passive la chute des cinq barres de sécurité. Celles-ci chutent sous l'action de la gravité en étant propulsées par l'air comprimé situé dans le vérin pneumatique de la partie haute de la barre. La chute de seulement 4 des 5 barres de sécurité est largement suffisante pour permettre l'arrêt du réacteur.

**Gravité des conséquences radiologiques** : L'activité contenue dans la source froide verticale, la plus pénalisante, est inférieure à 275 TBq. Le rejet de la moitié de cette activité, dans le cas le plus pénalisant correspondant à la fermeture intempestive d'une des vannes et donc au rejet de la partie liquide au moment du réchauffage, est environ deux fois la limite annuelle de rejet en tritium. La gravité est donc G2 compatible avec la catégorie de fonctionnement CF2 retenue de façon pénalisante.