



VALIDATION DE LA SOUPAPE ASVAD POUR SON UTILISATION DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

2019

VALIDATION DE LA SOUPAPE ASVAD POUR SON UTILISATION DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

TABLE DES MATIÈRES

1	OBJECTIF	1
2	INTRODUCTION	2
2.1	La menace de l'azote, l'ennemi interne	2
3	LA SOUPAPE ASVAD	5
3.1	Principe de fonctionnement de la soupape ASVAD	5
3.2	Configuration interne de la soupape ASVAD	7
3.3	Fonctionnement de la soupape ASVAD	8
3.3.1	Fonctionnalité d'ouverture automatique	8
3.3.2	Fonction de réarmement manuel (fermeture de la soupape)	9
3.3.3	Fonction d'ouverture manuelle (ouverture de la soupape)	9
3.3.4	Réglage du point de pression	10
3.3.5	Compensation automatique avec la température a l'enceinte de confinement	11
3.4	Installation de la soupape ASVAD dans le système des accumulateurs	12
3.5	Les avantages de la soupape ASVAD	13
3.5.1	Opération en fonctionnement normal	14
3.5.2	Opération en cas d'urgence	14
3.5.3	Aspects liés à la sécurité	15
3.5.4	Design	16
3.5.5	Installation	16
3.5.6	Maintenance	17
4	PROCESSUS DE DESIGN	18
4.1	Conception initiale	18
4.2	Conception détaillée	19
4.3	Principaux caractéristiques	21
5	PROGRAMME DE VALIDATION	22
5.1	Fonctions de sécurité à valider	22
5.2	Composants à qualifier	23
5.3	Méthodes de qualification	23
5.4	Spécifications de la soupape ASVAD	25
5.5	Spécifications de qualification	26
5.5.1	Qualification environnementale (température)	26
5.5.2	Qualification environnementale (pression)	27
5.5.3	Qualification sismique	28
5.5.4	Qualification environnementale (autres variables)	28
5.5.5	Processus de vieillissement accéléré	32
5.6	Plan de test de validation	33
5.6.1	Procédures du test	35
5.7	Résultats	38
5.7.1	Résultats des tests d'ouverture	39
5.7.2	Résultats de la qualification environnementale (température)	41
5.7.3	Résultats de la qualification environnementale (pression)	43

5.7.4 Qualification sismique	44
6 ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE	45
6.1 AMDE (Analyse des Modes de Défauts et Effets) générique de l'ensemble de la soupape ASVAD.	45
6.1.1 Défaillance en position ouverte.....	45
6.1.2 Défaillance en position fermée.....	46
6.1.3 Défaillance en position non fermée (fuites).....	47
6.1.4 Incertitudes du point d'action pendant un accident.	48
6.1.5 Mécanismes de dégradation ou de vieillissement.....	50
6.2 Analyse des défaillances des composants (AMDE).....	51
6.3 Temps moyen entre les défaillances.	51
7 CONFORMITÉ AUX NORMES RÉGLEMENTAIRES	52
7.1 Critères concernant le design 10 CFR 50.....	52
7.2 Système de qualité (GDC 1).....	52
7.3 Bases du design en cas de phénomènes naturels (GDC 2).....	52
7.4 Protection contre les incendies (GDC 3).....	53
7.5 Protection face aux conditions environnementales et les projectiles (GDC 4).....	53
7.6 Barrière de pression rcs (GDC 14, 30 et 31).	54
7.7 Fonctions de protection (GDC 20).....	55
7.8 Fiabilité et testabilité (GDC 21).....	55
7.9 Indépendance des systèmes de protection (GDC 22).....	56
7.10 Modes de défaillance des systèmes de protection (GDC 23).....	56
7.11 Protection contre les événements opérationnels (GDC 29).....	56
7.12 Contrôle de l'atmosphère de l'enceinte de confinement (GDC 41).....	57
7.13 Systèmes de ventilation.....	58
7.14 Conformité 10 CFR 50.59.....	58
8 CONCLUSIONS	59
9 DOCUMENTATION DE RÉFÉRENCE	61
10 LISTE DES SIGLES/ACRONYMES	62

ANNEXES:

- I. Dessins cotés de la soupape ASVAD.
- II. Dessins cotés du banc d'essai.
- III. Procédures de test de la soupape ASVAD.
- IV. Calculs sismiques de la soupape ASVAD.
- V. Résultats des tests de validation.
- VI. Table AMDE.
- VII. Manuel d'installation et d'utilisation.

1 **OBJECTIF**

L'objectif principal de ce document est de présenter les informations nécessaires pour démontrer les capacités de la soupape ASVAD et sa fonction de sécurité lorsqu'elle est installée dans les accumulateurs, ainsi que sa qualification de classe nucléaire 2 selon ASME cap. III, NC, permettant son installation et utilisation dans les centrales nucléaires.

Ce document est destiné à démontrer que:

- a) L'injection d'azote des accumulateurs doit toujours être évitée.
- b) Les stratégies actuelles des centrales nucléaires ne sont pas assez efficaces.
- c) La soupape ASVAD évite l'injection d'azote avec une grande fiabilité.
- d) La soupape ASVAD est conforme à la classe nucléaire 2 et est qualifiée pour son utilisation dans les centrales nucléaires.
- e) Son installation dans les centrales REP améliore considérablement sa capacité à faire face aux accidents postulés.

L'ordre suivant sera suivi:

1. Introduction initiale décrivant le problème de l'injection d'azote dans les installations à accumulateurs (REP). Ce problème n'est pas développé dans cette étude car il existe suffisamment de documentation à cet égard. Les faiblesses des stratégies actuelles sont commentées pour éviter cette injection.
2. Description du fonctionnement de la soupape ASVAD, de sa configuration interne, de ses fonctionnalités et de ses détails de conception, qui lui permettent de fournir une solution fiable au problème de l'injection d'azote.
3. Description du processus de conception et de fabrication.
4. Développement et résultats du programme de validation de la soupape ASVAD conformément à la réglementation ASME. Sa qualification nucléaire classe 2 est démontrée.
5. Résumé de la conformité de la soupape ASVAD, des normes réglementaires en vigueur et de son efficacité à remplir les fonctions de sécurité attendues.
6. Conclusion finale
7. Documentation jointe.

La soupape ASVAD est couverte par plusieurs brevets dans plusieurs pays:

EUROPE n° EP3142123 B1 / RUSSIE n° RU0002666346 / UKRAINE n° UA 117963
JAPON N ° JP6434992 / USA (US-2017-0133111-A1) / Chine (CN106663477) / Corée du Sud (KR10-2016-7031024).

Ce document est la propriété de, et contient des informations exclusives appartenant à ASVAD INTL SL. Il vous est transmis en toute confiance. Vous êtes autorisé à le distribuer. Leur modification n'est pas autorisée.

2 INTRODUCTION.

2.1 La menace de l'azote, l'ennemi interne.

Un réacteur nucléaire génère de la chaleur même longtemps après l'arrêt de la réaction nucléaire. Cette chaleur résiduelle doit être éliminée pour maintenir son intégrité du noyau au moyen de systèmes de refroidissement spéciaux. S'il est impossible d'extraire cette chaleur, la température augmente jusqu'à générer des atmosphères explosives d'hydrogène et fini par faire fondre le noyau, avec le possible rejet de substances radioactives dans l'environnement.

En ce qui concerne les réacteurs REP, en cas de perte totale de puissance électrique, le seul moyen de maintenir le refroidissement du cœur consiste à utiliser ce que l'on appelle la "circulation naturelle". Ce processus physique crée des écoulements dans le système de refroidissement du réacteur (RCS) par l'effet de la différence de température entre l'eau de sortie chauffée du réacteur et l'eau froide renvoyée par le générateur de vapeur. Le générateur de vapeur est l'endroit où la chaleur du noyau est échangée et extraite à l'extérieur sous forme de vapeur propre. Cette vapeur peut être dissipée dans l'atmosphère, évitant une communication directe entre le noyau et l'environnement externe.

Les systèmes conçus pour atténuer ces accidents incluent généralement un système passif d'injection d'eau borée jusqu'au noyau. Sa mission est de récupérer le niveau d'eau dans le réacteur pour maintenir son refroidissement et la concentration de bore afin que le réacteur reste sous-critique.

Ce système est composé de plusieurs réservoirs (accumulateurs) contenant de l'eau borée et mis sous pression avec de l'azote à haute pression. Ces accumulateurs sont directement connectés au réacteur par le biais d'une vanne d'isolement et de deux clapets anti-retour.

En fonctionnement normal, la pression dans le réacteur est beaucoup plus élevée que la pression interne des accumulateurs. Dans ces conditions, les clapets restent fermés et il n'y a pas d'injection.

Mais en cas d'accident de perte de frigorigène APRP/LOCA (**L**oss **o**f **C**oolant **A**ccident), la pression dans le réacteur diminuera jusqu'à tomber en dessous de la pression interne des accumulateurs. Ensuite, l'azote sous pression commence à injecter de l'eau borée dans le réacteur jusqu'à ce qu'il soit complètement vidé. Une fois vide, l'opérateur doit fermer la vanne d'isolement et arrêter l'injection. Cela ne pose généralement pas de problèmes majeurs et l'accident peut être contrôlé.

Mais en cas d'accident de perte totale d'énergie électrique, ELAP ou LTSBO (**E**xtended **L**oss **o**f **A**C **P**ower o **L**ong **T**erm **S**tation **B**lack-**O**ut), cet accident déclenche déjà un accident supplémentaire APRP/LOCA en raison de la dégradation des joints d'étanchéité des pompes à liquide de refroidissement.

Cette combinaison d'accidents implique non seulement la dépressurisation du réacteur, mais également la perte de l'équipement d'injection actif, et par conséquent, ces vannes ne peuvent pas être fermées.

Puis, quand après l'injection, l'eau de l'accumulateur est terminée, l'azote sous pression commence à pénétrer dans les tuyaux du système de refroidissement du réacteur, RCS (Reactor Cooling System).

Cette entrée d'azote dans le système n'affecte pas la chimie ou la réactivité du réacteur. Cependant, cet azote est un gaz incondensable, qui finit par se déplacer vers les parties supérieures du circuit, principalement vers la partie supérieure des tubes du générateur de vapeur SG (générateur de vapeur/Steam Generator). Cette accumulation de gaz incondensables provoque l'interruption du flux naturel de recirculation, principal moyen d'extraction de la chaleur vers l'extérieur. Cela complique grandement le refroidissement du noyau et augmente considérablement ses probabilités de fusion.

Cette étude n'aborde pas la description de ce phénomène ni de ses conséquences, car il existe suffisamment de publication à ce sujet.

Il est évident que cette intrusion d'azote des accumulateurs dans le réacteur est une circonstance à éviter autant que possible. Pour cela, les centrales nucléaires ne disposent actuellement que de trois stratégies:

- a. La première consiste à fermer la vanne qui communique l'accumulateur avec le RCS lorsque l'injection d'eau se termine.

Cette stratégie présente plusieurs inconvénients:

- Ces vannes sont ouvertes et déconnectées en permanence pour empêcher leur fermeture intempestive. Il faut les énergiser et ordonner la fermeture, pour cela, heureusement les centrales françaises ont un générateur de dernier recours dans le noyau dur. Mais c'est aussi un élément actif qui devrait fonctionner lors de l'accident.
- C'est une tâche critique dans le temps, car si elles se ferment trop tôt, une partie de l'injection est perdue et si elles se ferment trop tard, l'azote aura pénétré dans le réacteur. Cela doit être fait simultanément dans tous les accumulateurs, ce qui nécessite un effort important de la part du personnel.
- Le principal inconvénient est que ces vannes ne sont pas parfaitement étanches, et ont des fuites. Donc s'il y a une pression d'azote, il continuera à atteindre le réacteur, même si c'est de façon plus lente.
- Au cours de l'accident, il est fort probable que l'enceinte de confinement soit contaminée. Ensuite, lors de la reprise ultérieure de l'accident, l'azote aura suffisamment de temps pour entrer dans le circuit de refroidissement et menacer le noyau. Pour ces raisons, cette stratégie ne peut pas garantir la non-injection d'azote.

- b. La deuxième stratégie consiste à évacuer l'azote de l'atmosphère par les vannes de remplissage de l'accumulateur. Cette stratégie a des problèmes similaires à la précédente.

- Il est nécessaire de les énergiser, de les alimenter en air sous pression et de commander leur ouverture, pour cela, il faut du générateur de dernier recours et aussi d'un compresseur alternatif qui devra être déployé. Ça reste une tâche critique dans le temps pour les mêmes raisons.
- Cela doit également être fait simultanément dans tous les accumulateurs.

- Le principal inconvénient est que les lignes d'alimentation en air de ces vannes **ne sont pas préparées pour résister aux accidents**. Toute fuite ou consommation élevée peut empêcher une pression suffisante pour son fonctionnement.
 - Cette stratégie **ne peut pas garantir la non-injection d'azote**.
- c. La dernière stratégie consiste à maintenir la pression dans le réacteur à une valeur supérieure à la pression d'azote de l'accumulateur. Cette stratégie peut être efficace et éviter les injections, mais elle présente les mêmes difficultés que les deux précédentes:
- Elle dépend de l'installation de pompes de pressurisation (FLEX).
 - La pression dans le réacteur sera plus élevée et par conséquent les fuites seront également plus importantes.
 - La pompe doit fonctionner à des pressions plus élevées et dans des conditions plus exigeantes. Une dépressurisation accidentelle, même si elle est de courte durée, implique l'entrée d'azote dans le réacteur.
 - Mais le principal inconvénient est que **c'est une stratégie temporaire alors que d'autres actions sont entreprises**. Le réacteur ne peut pas être pressurisé indéfiniment, tôt ou tard, la pression doit être complètement éliminée, et c'est à ce moment que **l'injection d'azote aura lieu**.

Nous pensons que toutes les stratégies actuelles souffrent de la même combinaison de circonstances qui entravent leur réalisation effective:

- L'utilisation d'**éléments actifs** qui doivent être déployés et connectés.
- L'utilisation d'autres **éléments actifs de l'installation** qui doivent fonctionner même s'ils sont soumis aux rigueurs de l'accident.
- Le personnel d'urgence doit réaliser toutes ces activités à différents endroits de l'installation et à différents moments.
- La criticité **dans le temps** de ces activités. Elles doivent être effectuées au bon moment et sur tous les accumulateurs simultanément.

Par conséquent, la nécessité d'un système automatique qui n'ait pas besoin d'énergie supplémentaire pour son fonctionnement et qui puisse empêcher cet azote indésirable d'entrer dans le réacteur est évidente. De plus, le système de dépressurisation doit automatiquement reconnaître le bon moment pour son action, ce qui peut permettre d'une part à la puissance de négliger ses performances et d'autre part de maximiser l'effet de l'injection d'eau de refroidissement dans le réacteur. Le fait de disposer d'un système passif, simple, robuste, automatique et permanent, maximisera les chances de succès dans les différentes circonstances d'un accident.

Les problèmes liés à la présence d'azote (ou d'autres gaz incondensables) dans les circuits de réfrigération ne font pas l'objet de la présente étude, car il existe de nombreux documents à ce sujet. C'est qu'en consultant le GL-2008-1 du NRC [13] et toute la documentation qui en découle que l'on comprend suffisamment l'importance de cette menace.

L'analyse détaillée des stratégies actuelles pour l'éviter n'est également pas un objectif de cette étude. Nous nous contentons de commenter les principales faiblesses pour les comparer à la nouvelle soupape ASVAD.

3 LA SOUPAPE ASVAD

Après avoir reconnu les faiblesses des stratégies actuelles face à l'injection d'azote, nous ne les avons pas que dénoncées, nous avons fait un pas en avant pour trouver un système alternatif qui évite cette injection sans les points faibles des stratégies précédentes.

Le résultat de cet effort est la conception d'un nouvel élément passif: l'ASVAD (soupape de sécurité automatique pour dépressurisation des accumulateurs/Automatic Safety Valve for Accumulator Depresurization) qui peut empêcher efficacement l'injection de tout l'azote présent des accumulateurs dans les systèmes de refroidissement de secours et dans le RCS.

La soupape ASVAD est similaire à une soupape de surpression, mais avec une opération inverse. Cet élément ne relâche pas la pression lorsqu'un point de consigne est dépassé, mais le fait lorsque la pression dans l'accumulateur **passee en dessous d'une valeur prédéterminée**.

Cette soupape doit être installée du côté azote de chaque accumulateur. Lorsqu'il est soumis à la pression interne de celui-ci, elle détecte la fin de l'injection d'eau et est capable de libérer l'azote résiduel de l'accumulateur dans l'atmosphère **avant qu'il puisse entrer dans le réacteur**.

Fondamentalement, la soupape ASVAD **reste fermée** tant que la pression dans l'accumulateur est normale. Une fois que l'injection commence, l'azote se dilate au fur et à mesure que le liquide sort. Cela implique une baisse continue de la pression à l'intérieur. Lorsque cette pression atteint le point d'action prédéterminé, la soupape s'ouvre, libérant tout le gaz résiduel dans l'atmosphère.

Une fois ouverte, la soupape reste ouverte en permanence, ce qui garantit la dépressurisation complète de l'accumulateur et évite toute injection ultérieure d'azote dans le réacteur.

3.1 Principe de fonctionnement de la soupape ASVAD.

L'ASVAD a une conception très simple, car elle consiste essentiellement en une chambre de pression (1) reliée à l'accumulateur. Cette chambre de pression est fermée par un bouchon creux (2). En solidarité avec l'obturateur, un disque d'ajustement (4) et un ressort (3) qui exerce une force dirigée vers le bas qui essaye d'ouvrir l'obturateur.

La base du fonctionnement de la soupape ASVAD est le déséquilibre des forces exercées sur l'obturateur. D'un côté, nous avons la force exercée par la propre pression de l'accumulateur, cette force pousse l'obturateur en le maintien fermé, et de l'autre, nous avons la force exercée par un ressort préchargé, cette force est constante et pousse l'obturateur vers le bas en essayant de l'ouvrir.

Alors que la force exercée par la pression normale de l'accumulateur (flèche épaisse) est supérieure à celle exercée par le ressort (flèche fine), l'obturateur reste fermé et au repos.

Si nous prérégions la force du ressort à une valeur similaire à la force exercée par la pression de l'accumulateur après l'injection et la vidange de son liquide, nous pouvons obtenir, lorsque ces circonstances se produisent, que la force du ressort puisse surmonter la pression résiduelle et ouvrir l'obturateur.

Dans des conditions de fonctionnement normales, la pression de l'accumulateur est trois fois supérieure à la pression résiduelle après la vidange complète. Cela implique que le rapport de force sera également de 3 à 1 ce qui garantit une fermeture complètement stable tout en maintenant la pression normale de l'accumulateur.

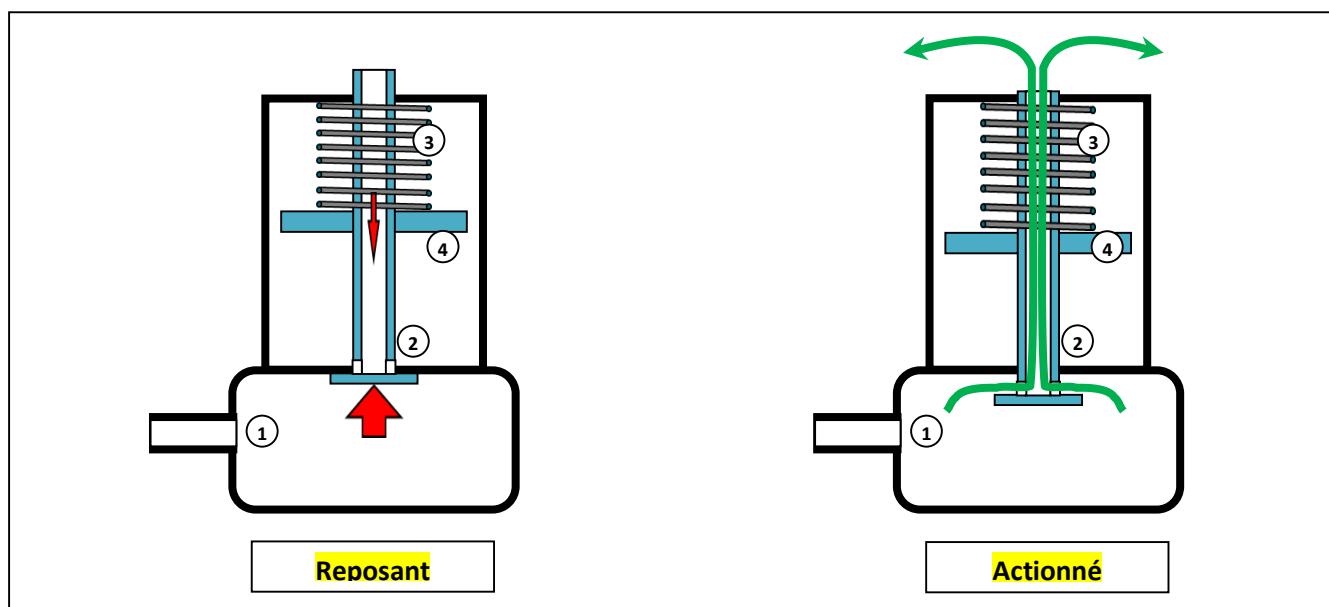


Figure 1. Schéma simplifié de fonctionnement de la soupape ASVAD.

Pendant un accident de perte de liquide de refroidissement (LOCA) et une fois que le réacteur ait perdu une bonne partie de la pression, les accumulateurs commencent leur injection. Au fur et à mesure que l'eau s'écoule de l'accumulateur, l'azote à l'intérieur se dilate, ce qui diminue la pression et donc le rapport des forces diminue à chaque fois en s'approchant progressivement de l'unité.

Une fois la phase liquide injectée, il reste une pression résiduelle de gaz qui doit maintenant être évacuée. Lorsque cette pression tombe en dessous du point de consigne de la soupape, la force du ressort dépasse la force de pression résiduelle et l'obturateur se déplace de son siège en ouvrant la communication de la chambre de pression (1) avec les trous du tube creux intérieur. Une fois que l'obturateur s'est détaché de son siège, la pression dans la chambre diminuera encore plus, laissant la soupape ouverte en permanence en raison de l'action continue du ressort.

Ce qui implique la dépressurisation totale de l'accumulateur dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement et empêche ainsi complètement l'entrée d'azote dans le RCS. Comme conséquence secondaire, cet azote en expansion contribuera à la neutralisation et au refroidissement de l'intérieur de l'enceinte de confinement.

Le disque d'ajustement (4) est fileté sur l'obturateur (2), de sorte que la tension initiale du ressort puisse être ajustée dans une certaine plage. Cette tension est celle qui prédétermine de manière principale le point d'action de la soupape sous pression.

3.2 Configuration interne de la soupape ASVAD.

La conception actuelle de la soupape ASVAD présente plusieurs caractéristiques supplémentaires qui complètent sa fonction de sécurité de base. L'ASVAD a également un système anti-rotation, un déflecteur de gaz, la capacité de s'ouvrir et de se fermer à distance et une protection environnementale. Le schéma présenté dans la figure 1 est une simplification de la conception réelle de la soupape ASVAD.

La description ci-dessous indiquée de la soupape ASVAD est basée sur le plan détaillé RV-E1306-rev3 fourni comme annexe 1. La figure délimitée à gauche représente la soupape en position fermée, tandis que la figure centrale contenant les références de chaque pièce représente la soupape en position ouverte.

L'ASVAD est définie dans une structure métallique formée de trois pièces:

- Le corps central (5), qui contient les composants internes de la soupape.
- Le couvercle supérieur (20) contenant le piston d'ouverture (1881).
- Une chambre inférieure pressurisée (25) dans laquelle l'obturateur est logé et qui communique avec l'accumulateur par le biais d'une connexion à bride standard (173).

Les composants internes de la soupape sont les suivants:

- un obturateur principal (1047) qui reçoit sur sa partie inférieure la pression du gaz dans la chambre pressurisée et est associé à un ressort de réglage (1887) par l'intermédiaire d'un disque fileté ajustable (1884). Ce disque comprend deux goujons anti-rotation (1895).
- Un joint de fermeture principal (70) fixé avec des vis sur la partie central (5) et représenté au détail Z du plan et qui, conjointement avec l'obturateur principal (1047), ferme la communication de la chambre de pression avec le trou central de l'obturateur.
- Une série d'éléments de fixation et de positionnement des composants internes **formés** par les pièces (177) qui contiennent le ressort de réglage, la pièce (931) qui contient la précédente et qui ferme le corps intermédiaire. La pièce (1883) qui contient l'obturateur principal (1047) et qui sert de guide à la fois à ce dernier et au piston de fermeture (1882).
- Un piston de fermeture (1882) avec son ressort antagoniste de récupération (1886) et ses joints d'étanchéité correspondants qui sera chargé de positionner l'obturateur principal (1047).
- Un piston d'ouverture (1881) et ses joints d'étanchéité correspondants qui sera chargé de positionner l'obturateur principal (1047) au niveau de l'ouverture.
- Des sorties de gaz mécanisées sur le piston (1881) et sur le couvercle (20). Ces orifices sont fermés avec des bouchons anti-poussière (660).
- Un déflecteur de gaz formé par un disque (1896) vissé à l'intérieur de la chambre inférieure pressurisée (25).
- Une série de goujons filetés (375) avec leurs écrous correspondants (380) pour relier le corps central (5) à la chambre de pression (25).

3.3 Fonctionnement de la soupape ASVAD.

Une fois que le principe de fonctionnement de base de la soupape ASVAD est compris, nous allons rentrer dans les détails et les fonctionnalités supplémentaires. Nous continuerons de faire référence au plan RV-E1306-rev 3 de l'annexe 1.

3.3.1 Fonctionnalité d'ouverture automatique.

La principale fonctionnalité pour laquelle l'ASVAD est qualifiée consiste à épuiser le gaz résiduel restant dans les accumulateurs une fois qu'ils ont injecté toute leur phase liquide. Cette fonctionnalité est garantie avant, pendant et après les accidents postulés DBA (*Design Basis Accident*), OBE (*Operating Base Earthquake*) et SSE (*Safe Shutdown Earthquake*).

Cette fonctionnalité est obtenue grâce à l'ensemble formé par la chambre de pression (25), l'obturateur principal (1047), son joint (70), le disque d'ajustement (1884), le ressort de réglage (1887) et son support associé (107), (931) et (5).

En position fermée, la pression normale de l'accumulateur atteint la chambre sous pression (25) à travers le raccord (173). Cette pression est généralement de 45 kg/cm² (650 psi).

Tant qu'une pression suffisante est maintenue dans la chambre sous pression (25), celle-ci exercera une force **F_c** vers le haut sur la surface de l'obturateur (1047) qui contrecarrera et dépassera la force **F_a** exercée vers le bas par le poids de l'obturateur (1047) et du disque d'ajustement (1884), plus la force exercée par le ressort d'ouverture (1887). Alors que **F_c>F_a**, la pression supérieure dans la chambre pressurisée (25) maintiendra l'obturateur (1047) fermé sur son siège (70) indéfiniment.

Si nous tenons compte de que la pression normale de fonctionnement est d'environ 45 kg/cm² (650 psi), et que la pression résiduelle qui reste après l'injection complète de la phase liquide est d'environ 16 kg/cm² (230 psi), le rapport entre la force de fermeture dans des conditions normales et la force d'ouverture après l'injection est pratiquement de 3, ce qui garantie une fermeture parfaite et stable pendant tout le fonctionnement normal.

Pendant l'accident, lorsque l'accumulateur se vide, le gaz se dilate et réduit sa pression à l'intérieur de l'accumulateur. Lorsque toute l'eau borée est délogée de l'accumulateur, il reste une pression résiduelle d'environ 16 kg/cm² (230 psi). A ce stade, la force **F_c** exercée par cette pression ne peut plus contrecarrer la force combinée **F_a** du ressort d'ouverture (1887), du poids de l'obturateur (1047) et de ses annexes.

A ce moment, l'obturateur (1047) ne peut plus maintenir l'étanchéité avec la fermeture (70), provoquant ainsi une fuite de gaz à travers celle-ci, ce qui d'un côté réduira davantage la pression dans la chambre de pression (25). Et de l'autre l'augmentation dans le corps interne de la soupape. Cet effet de **réalimentation** de la force d'ouverture provoquera l'ouverture de l'obturateur, qui atteindra sa position inférieure, laissant ouverte une communication entre la chambre de pression (25) et le corps interne de la soupape.

Étant donné que les bouchons anti-poussière (660) ne sont fixés au couvercle supérieur (20) que par simple friction, une fois que la pression à l'intérieur de la soupape ait augmenté suffisamment, ils seront expulsés par le gaz qui sort de l'obturateur, laissant définitivement le chemin de l'accumulateur à l'atmosphère ouvert ainsi que la dépressurisation complète de l'accumulateur en peu de temps, éliminant la possibilité que l'azote puisse être introduit dans le RCS.

Tous les bouchons sont reliés entre eux par un câble en acier qui les maintient ensemble et avec le corps de la soupape. De cette façon, ils ne peuvent pas devenir des projectiles dangereux ou des débris qui pourraient perturber d'autres systèmes. Cela empêche également qu'ils ne se perdent accidentellement.

3.3.2 Fonction de réarmement manuel (fermeture de la soupape).

Une fois la soupape ouverte, l'obturateur (1047) restera indéfiniment dans sa position inférieure, laissant le système ouvert. Cet obturateur (1047) ne peut être ramené à sa position armée qu'en actionnant le piston de fermeture (1882) en injectant de l'air sous pression à travers l'entrée (1898). Cet air fera glisser le piston de fermeture (1882) vers le haut et poussera l'obturateur (1047) à travers le disque d'ajustement (1884) jusqu'à ce que l'obturateur (1047) soit refermé sur son siège (70).

Cette position peut également être maintenue indéfiniment lorsque l'entrée (1898) est sous pression. Maintenir la soupape fermée nous permettra de normaliser l'accumulateur en le repressurisant à nouveau avec de l'azote.

Une fois que la chambre pressurisée (25) ait une valeur de pression supérieure au point d'actionnement de la soupape, l'entrée (1898) peut être dépressurisée, le piston (1882) revenant alors dans sa position de repos inférieure par l'action du ressort antagoniste (1886), laissant la soupape à nouveau armée et prête pour une nouvelle utilisation.

L'assemblage d'un système d'alimentation en air comprimé peut être évité en tirant parti des systèmes installés. Ce piston peut partager la même ligne d'air avec celle qui commande la vanne utilisée pour pressuriser l'accumulateur avec de l'azote. En joignant simplement les deux lignes pilotes, la soupape ASVAD reste fermée tandis que l'accumulateur est alimenté en azote. Lorsque l'alimentation est terminée, l'air est éliminé en laissant la soupape armée.

3.3.3 Fonction d'ouverture manuelle (ouverture de la soupape).

Si la dépressurisation de l'accumulateur est requise, cette action peut être effectuée par la soupape ASVAD, en actionnant simplement le piston d'ouverture (1881) en injectant de l'air sous pression à travers l'entrée supérieure. Cet air poussera le piston d'ouverture (1881) vers le bas en entraînant la pièce (177) et l'ensemble de l'obturateur (1887, 1047, 1884) jusqu'à ce que la soupape s'ouvre.

Cette position peut être maintenue indéfiniment. Cependant, une fois ouverte, il n'est plus nécessaire de maintenir la pression sur le piston, car l'obturateur reste ouvert en permanence du fait de la dépressurisation de la chambre de pression (25).

En retirant la pression, le piston (1881) revient à sa position de repos inférieure par la simple action du ressort principal (1887).

Cette fonctionnalité peut également être utilisée pour ouvrir la soupape par d'autres moyens, comme par exemple:

- Un système pyrotechnique passif pouvant être activé de l'extérieur de l'enceinte de confinement.
- Un système de détection de niveau supplémentaire dans l'accumulateur qui pourrait compléter sa fonctionnalité d'ouverture de base par pression.

Dans cette étude, ces fonctionnalités alternatives ne sont pas envisagées.

3.3.4 Réglage du point de pression.

Le réglage du point de pression souhaité est très facile. Il est obtenu par la rotation relative entre le disque d'ajustement (1884) et l'obturateur principal (1047). Cette action comprime le ressort avec une certaine tension qui sera la force qui à son moment déclenche la valve à la pression équivalente désirée.

Le réglage doit être effectué avec la chambre de pression (25) dépressurisée et l'obturateur ouvert (1047). Il est également nécessaire de retirer le couvercle supérieur (20) et l'ensemble de piston d'ouverture (1881, 1885).

Dans ces conditions et au moyen d'un outil spécial engrenant avec les créneaux de la partie supérieure de l'obturateur (1047), il peut être tourné dans un sens ou dans un autre. Cette rotation resserrera ou relâchera le ressort de réglage à travers le disque d'ajustement (1884). Ce disque ne peut pas tourner avec l'obturateur (1047), car il comporte deux goujons anti-rotation (1895).

La tension réglée dans le ressort détermine la pression d'ouverture de la soupape une fois celle-ci assemblée. Cette tension dépend principalement de la constante élastique du ressort et de la compression du ressort. Cette tension peut être contrôlée visuellement pendant le réglage en observant la longueur des goujons anti-rotation (1895) qui apparaissent à travers les orifices de la pièce contenant le ressort (177).

Une fois le réglage effectué, il faut procéder à son test de fonctionnement sur un banc d'essai pour vérifier que celui-ci se situe dans les limites spécifiées.

Ce réglage est très insensible aux manipulations de la soupape lors de son montage. L'importante friction dans le filetage entre le disque d'ajustement et l'obturateur les maintiendra dans leur position. Le support de l'obturateur (1047) sur le déflecteur (1896) aide également à maintenir ladite position.

En fonctionnement normal avec la soupape fermée, son désalignement est impossible car l'obturateur (1047) est fermé sur le joint (70), et empêche son mouvement par friction.

3.3.5 Compensation automatique avec la température dans l'enceinte de confinement.

La température et la pression dans l'enceinte de confinement vont considérablement augmenter après un accident LOCA ou HELB (High Energy Line Break). L'ASVAD prend parfaitement en charge ces conditions et maintient ses fonctionnalités avant, pendant et après de tels événements.

Les températures attendues ne sont pas susceptibles d'endommager la soupape car elle est presque entièrement métallique. Les joints EPDM (Ethylene Propylene Diene Type M) sont **les éléments** les plus fragiles de l'ensemble, mais ils sont suffisamment robustes pour résister aux conditions d'un accident sans perdre leur fonctionnalité.

Cependant, les accumulateurs chaufferont en raison de l'augmentation de la température ambiante, ce qui entraînera une augmentation de la pression d'azote à l'intérieur.

Cela fera en sorte que le point approprié pour épuiser l'azote augmentera avec la température. Si, à une température de fonctionnement normale (environ 45°C 113°F), la pression à laquelle l'accumulateur est vide de liquide est d'environ 16 kg/cm² (230 psi), lorsque la température atteint 100°C (212°F), cette pression aura atteint 19 kg/cm² (275 psi), ce qui représente près de 3 kg/cm² (44 psi) de plus.

Depuis que la plupart des centrales ont modernisé les joints du RCP (Reactor Coolant Pump) avec les nouveaux joints passifs à faible fuite, l'APRP attendu ne sera pas très important. Cela signifie que l'augmentation de la température et de la pression dans l'enceinte de confinement sera lente, et donc assez isothermique tout au long de l'accident.

La conception de l'ASVAD prend en compte cette circonstance et tire parti de l'augmentation de la pression dans l'enceinte de confinement pour compenser la déviation attendu du point d'ouverture optimal avec la température.

L'ASVAD profite de la force supplémentaire exercée par l'augmentation de pression de l'enceinte sur la surface supérieure de l'obturateur pour augmenter le point d'ouverture au-dessus de la valeur définie dans des conditions environnementales normales. Cette force dépend des dimensions du joint principal (70). Un choix approprié du diamètre interne impliquera un effet plus ou moins important de la pression de l'enceinte de confinement sur le point d'ouverture.

Cette force supplémentaire compensera la surpression produite par l'augmentation de la température, car les deux évoluent en fonction de cette même variable.

Cependant, l'évolution de la pression à l'intérieur de l'accumulateur est linéaire avec la température, tandis que l'évolution de la pression dans l'enceinte de contention suit la courbe de la pression de saturation de la vapeur, qui est assez linéaire à basses températures, mais pas à partir de 60°C (140°F).

Une corrélation de compensation adéquate peut être obtenue dans la plage de températures attendue lors d'un accident (50 °C à 130 °C) (120 °F à 250 °F). Donc, l'écart maximal entre le point d'ouverture de la soupape ASVAD et le point de pression de vidange de l'accumulateur peut être limité à seulement ± 0,6 bar dans la plage de température.

Cette fonctionnalité "d'ajustement automatique" du point d'ouverture facilite le choix du point de travail et améliore la réponse de la soupape lors d'un accident, en optimisant le volume effectif d'eau disponible pour l'injection.

Le choix du point optimal de réglage de l'ouverture de la soupape ASVAD, **n'est pas une compétence de cette étude**, elle devra être faite par les utilisateurs finaux.

3.4 Installation de la soupape ASVAD dans le système des accumulateurs.

La soupape ASVAD est connectée à l'accumulateur au moyen d'un court tronçon de tuyau avec la section appropriée. La connexion à l'accumulateur doit être faite dans sa partie la plus haute, côté gaz.

Entre la connexion à l'accumulateur et la soupape ASVAD, il est pratique d'installer une vanne d'isolement manuelle, qui nous permettra de l'isoler de l'accumulateur afin de pouvoir effectuer sa maintenance sans l'affecter.

La soupape a un poids et un volume réduit et est qualifiée pour être installée directement sur le tuyau. Si elle est directement **appuyée** sur un point fixe (mur ou support), les contraintes mécaniques sont encore minimisées.

Si vous souhaitez avoir des fonctions de commande à distance, votre installation nécessitera une alimentation en air sous pression et les circuits électropneumatiques correspondants à cet effet. Son design spécifique correspond à l'utilisateur final et ne sera pas traitée dans ce document.

Bien que sa position de fonctionnement normale soit verticale, l'ASVAD peut fonctionner dans n'importe quelle position de montage. D'autres positions sont également autorisées, mais le changement doit être pris en compte lors du réglage de la pression d'ouverture.

3.5 Les avantages de la soupape ASVAD.

Les avantages inhérents à la conception de cette soupape sont très nombreux et couvrent plusieurs domaines différents, comme montré ci-dessous:

Principaux avantages:

1. La soupape ASVAD est **disponible à tout moment**.
2. Elle **évite complètement** l'injection d'azote.
3. Elle fonctionne sur la base de principes physiques simples et universels.
4. **Elle est passive**. Elle n'a pas besoin d'énergie externe.
5. **Elle est autonome**. Elle n'a pas besoin d'un opérateur.
6. **Elle agit au bon moment** et sur tous les accumulateurs.
7. Elle agit **automatiquement** en ressentant la pression de l'accumulateur.
8. Elle corrige son point d'ouverture en fonction des conditions environnementales, en maximisant le volume effectif d'eau de remplacement de l'accumulateur.
9. Elle aère complètement l'accumulateur et évite la possibilité d'injection ultérieure.
10. Elle permet de dépressuriser le RCS à des pressions plus basses, ce qui **facilitera grandement le rétablissement** de l'accident.
11. Elle épargnera des efforts au personnel en lui permettant de se concentrer sur d'autres tâches.
12. Elle n'interfère pas avec le fonctionnement normal.

Avantages secondaires:

1. Elle est très **fiable** grâce à **son design simple et robuste**.
2. Elle résiste à l'environnement présent après l'accident.
3. Elle est très **facile à installer** dans le système. Pas besoin de grosse modification.
4. Il est **facile à autoriser**. Elle **n'ajoute aucun nouveau mode de défaillance** différent de ceux déjà analysés.
5. Elle est **intrinsèquement sûre**. Pas de problèmes électriques ou électromagnétiques. Sans logiciel, donc pas de cybersécurité. Elle n'ajoute pas de charge d'incendie. Insensible aux radiations, à l'humidité et aux inondations.
6. C'est une soupape nucléaire de **classe 2**.
7. Son **fonctionnement est facile**. Elle peut agir à distance si nécessaire.
8. Son entretien est simple. **Il n'y a pas d'usure**. Elle n'a presque pas besoin de pièces de rechange. Le coût de maintenance est minimum "Installer et oublier". Son entretien peut être fait en atelier car elle est facile à démonter. Difficile à contaminer.
9. La **vérification est facile**, semblable à une soupape standard.
10. Sa pression d'actionnement est **simple à régler et à vérifier**.
11. Elle est **économique**. Elle n'a pas besoin de modification complexe et coûteuse.
12. **Elle a une longue durée de vie qualifiée**. Vous n'aurez plus besoin d'investissements futurs. "Achetez-la une fois, utilisez-la pour toujours."

Ci-dessous tous ces avantages sont détaillés et expliqués en fonction de leur portée.

3.5.1 Opération en fonctionnement normal.

- Tant que la pression dans l'accumulateur est suffisante, la soupape ASVAD reste **fermée en permanence**. Cela n'affectera pas les accumulateurs pendant le fonctionnement normal.
- **Elle ne fuit pas**. Dans le cas peu probable que cela se produise, elle peut être facilement isolé de l'accumulateur et démonté pour sa réparation, grâce à la vanne d'isolement manuelle.
- En installant l'option de commande à distance, il est possible de l'utiliser depuis la salle de contrôle. La fermeture et l'ouverture inconditionnelles peuvent être ordonnées lorsque des raisons opérationnelles sont requises, ce qui facilitera son fonctionnement manuel même si elle est installée dans une zone d'accès difficile.
- Étant située du côté azote de l'accumulateur et à un niveau plus élevé que celui-ci, elle ne peut pas être affectée par les dépôts de bore qui pourraient compromettre son fonctionnement. Même dans le cas improbable d'un débordement accidentel de l'accumulateur, ses éléments internes mobiles ne seraient pas compromis grâce au scellement de l'obturateur.

3.5.2 Opération en cas d'urgence.

- Comme elle est installée en permanence dans le système, l'ASVAD **est disponible à tout moment** pour assurer sa fonction de sécurité. Il n'y a pas de périodes d'inopérabilité.
- Elle évite **à 100%** les complications d'un accident par injection d'azote, **déchargeant le personnel de cette tâche**. Les opérateurs peuvent rediriger leurs efforts vers des tâches plus prioritaires.
- C'est un élément **complètement passif (type C)**. Elle ne nécessite d'aucune source d'énergie externe. Elle fonctionnera parfaitement pendant tout l'accident car l'énergie nécessaire à son ouverture est déjà accumulée dans le ressort principal. Elle fonctionne selon des principes physiques simples et universels.
- C'est un élément **complètement autonome et automatique**. Elle n'a pas besoin de l'attention d'un opérateur ou d'un autre système associé pour exécuter sa fonction de sécurité.
- **Elle agit au bon moment** et toujours après l'injection d'eau de l'accumulateur. Son ouverture dépend principalement de la pression résiduelle dans l'accumulateur. Elle ne s'ouvrira qu'après avoir suffisamment réduit la pression. Cela ne peut se produire que lorsqu'il y a peu liquide à l'intérieur ou que l'accumulateur est suffisamment dépressurisé.
- **Son point d'ouverture s'ajuste automatiquement** aux conditions environnementales. Ce qui compense l'augmentation de la température de l'enceinte de confinement.
- Les accumulateurs commencent avec un niveau de gaz et de pression similaires. Sa vidange se produira également simultanément. En installant une soupape ASVAD dans chaque accumulateur, ceux-ci seront protégés contre l'injection de gaz.
- Une fois qu'elle aura agi, l'ASVAD restera ouverte en permanence et **dépressurisera complètement l'accumulateur** en évitant toute possibilité d'injections ultérieures d'azote.
- L'atténuation d'azote à l'enceinte de confinement facilitera son **inertization** et son refroidissement. La pression peut augmenter légèrement à l'intérieur, mais pas suffisamment pour représenter un problème.

- Ses performances peuvent être facilement détectées grâce à l'instrumentation disponible (pression des accumulateurs ou pression et température de l'enceinte de confinement), même en cas de défaut d'alignement important. Le changement de pression est si important qu'il sera facilement détecté. La variation de pression et de température dans l'enceinte de confinement due à la dilatation des gaz le sera également détectée.
- En évitant complètement l'injection d'azote dans le RCS, elle peut être dépressurisée à des niveaux inférieurs. **C'EST L'UN DES PRINCIPAUX AVANTAGES DE L'ASVAD** Il en résulte trois conséquences principales:
 - **Le débit de fuites de réfrigérant diminue** et donc le débit de récupération nécessaire.
 - **Le liquide de refroidissement peut être injecté à des pressions plus basses.** Cela permet d'utiliser d'autres moyens alternatifs qui, auparavant, ne pouvaient pas atteindre la pression requise (le système de protection incendie, autres pompes à basse pression). Il y a plus d'options pour se récupérer de l'accident.
 - **Les équipes d'urgence travailleront** dans des conditions plus détendues pendant toute la durée de la récupération de l'accident (la consommation de carburant sera inférieure, les joints seront soumis à des efforts moindres, les débits peuvent être plus faibles et dureront plus longtemps, etc.).
- Lorsqu'elle est ouverte après son exécution (et s'il est possible d'aligner le reste des éléments requis), elle peut fournir un chemin direct vers l'atmosphère de l'enceinte de confinement afin de réaliser des **inertizations** ultérieures d'azote ou d'éviter des situations de dépression excessive.

3.5.3 Aspects liés à la sécurité.

- **Sa simplicité** et les principes physiques sur lesquels elle est basée, font de l'ASVAD un équipement très **robuste et fiable**. Son risque de défaillance est très faible car elle est immunisée contre la plupart des pannes connues.
- Une fois installée et armée, elle sera **disponible tout le temps** et dès le premier moment. Il n'y a pas de périodes d'inopérabilité.
- **Elle n'ajoute aucun mode de défaillance différent** au système que ceux déjà analysés. Pour plus de détails voir la section 6 de l'analyse des défaillances.
- S'agissant d'un élément mécanique simple, sa qualification d'élément de sécurité l'est également.
- **Diminution du CDF (Core Damage Frequency).** En évitant l'injection d'azote dans le RCS, elle évite les complications qui en découlent et augmente les chances de récupération. Les valeurs spécifiques de cette réduction doivent être calculées pour chaque cas particulier et **NOT** font partie du présent document.
- Son faible poids (53 kg), la rend **insensible aux effets sismiques**.
- Les éléments les plus fragiles de la soupape sont ses joints. Seulement 2 remplissent une fonction de sécurité. Comme aucun d'entre eux ne fonctionne de manière dynamique (ils sont complètement statiques), **ils peuvent maintenir leur fonctionnalité** même en cas de dégradation importante de ses propriétés élastiques.
- En raison du design et de sa conception, elle est **insensible** contre de nombreux risques, comme postulés ci-dessous:
 - Insensible à la pression ambiante puisqu'elle est utilisé dans son fonctionnement et son affectation est déjà prise en compte et n'affecte pas son intégrité structurelle.

- Très robuste contre les effets de la température.
 - Insensible aux radiations.
 - Insensible aux liquides ou à l'humidité.
 - Insensible aux champs électromagnétiques. Elle ne les génère pas non plus.
 - Insensible contre la corrosion et les attaques chimiques (Acier inoxydable F316).
 - Insensible contre la poussière et la saleté.
 - Insensible contre les cyberattaques (évidemment). Sans logiciel
 - Insensible aux chocs ou autres phénomènes électriques.
 - Insensible au feu et ne contribue pas à la charge d'incendie.
 - Très résistante aux projectiles grâce à son corps dur et arrondi.
- Elle n'inclut pas des matériaux pouvant être activés facilement par radiologie.

3.5.4 Design.

- C'est un élément avec un design **très simple, robuste et fiable**.
- La soupape est qualifiée **classe nucléaire 2**, car elle ne constitue pas une barrière de pression du RCS.
- C'est une soupape complètement métallique (à l'exception de certains joints d'étanchéité), elle peut facilement résister aux environnements agressifs pouvant survenir lors de d'un accident.
- Ses joints d'étanchéités ne fonctionnent pas de manière dynamique et peuvent conserver leur **fonctionnalité** même en cas de dégradations importantes de ses propriétés. Cependant, ils ont aussi une vie qualifiée.
- Son design répond aux normes **ASME** et d'autres normes mécaniques.
- Les pièces qui la constituent sont simples. Elles ne nécessitent pas d'effort particulier pour leur fabrication et leur assemblage.

3.5.5 Installation.

- **Son installation dans le système est très simple.** Tout ce dont vous avez besoin est une connexion directe à l'accumulateur et une vanne manuelle pour l'isoler pendant la maintenance.
- La modification du système d'accumulateur peut être **minimum**. Si l'option de commande à distance est installée, elle ne nécessite qu'un système de commande standard, comme toute autre soupape pneumatique. Ce système n'a pas besoin de qualification.
- Son implantation **n'a pas d'impact négatif** dans l'installation existante. La soupape n'ajoute aucun mode de défaillance différent de ceux déjà analysés.
- Étant relativement petite et légère, elle ne nécessite pas de support sismique robuste ni d'espace libre supplémentaire autour d'elle.
- Elle peut facilement s'adapter aux connexions existantes, elle n'interférera pas avec celles-ci.
- Elle peut être installée dans une zone non radiologique permettant ainsi son entretien pendant le fonctionnement normal.
- Son installation n'a pas d'impact sur le chemin de recharge critique, car les accumulateurs ne sont pas opérationnels et pratiquement dépressurisés pendant toute la durée de la recharge.
- Le coût de son installation peut être faible. **Aucun autre investissement n'est nécessaire**, car sa vie qualifiée est très longue et sa maintenance minime.

- Bien que son installation standard soit verticale, elle admet également son installation dans toute autre position, même inversée. Dans ce cas, seul le point d'ajustement d'ouverture doit être révisé.

3.5.6 Maintenance.

- Sa conception simple facilite également la maintenance. L'ASVAD peut être facilement démonté dans ses composants, en permettant de les inspecter complètement et sur toutes ses surfaces.
- Son réglage et son fonctionnement sont très simples. Elle est similaire aux autres soupapes de surpression standard.
- C'est un élément complètement passif, ses pièces **ne montrent pas de détérioration ou d'usure après le temps**. La qualité du matériau de ses joints n'a besoin que de remplacement préventif qu'après leur vie qualifiée.
- La présence d'une vanne d'isolement permet son entretien avec l'accumulateur en service et sans compromettre son fonctionnement. Elle peut être démontée et remplacée facilement par une autre soupape révisée.
- La révision ultérieure de la soupape peut être faite dans un atelier classique, car il est très difficile que la soupape puisse être contaminée ni à l'extérieur ni à l'intérieur. Même dans le cas peu probable de contamination, sa surface est facile à décontaminée.
- **Sa vie qualifiée est indéterminée**, puisqu'elle est fabriquée en acier inoxydable F316, elle sera capable de fonctionner parfaitement pendant **tout** le cycle de vie de la centrale. Elle ne sera pas soumise à des environnements agressifs qui pourraient la dégrader. Les joints internes nécessitent une substitution préventive en fonction de leur vie qualifiée.
- Tous les joints sont internes, ils sont donc protégés de l'environnement extérieur.

4 PROCESSUS DE DESIGN

4.1 Conception initiale.

L'idée initiale de la conception de la soupape ASVAD est née après une session de formation sur les procédures GMDE (Guides de gestion des dommages étendus) en cours de mise en œuvre dans la centrale nucléaire d'Ascó. Ces directives obligeaient à maintenir la pression RCS supérieure à la valeur d'injection d'azote (environ 16 kg/cm² / 232 psi), mais inférieure à la valeur d'injection maximale compatible avec les pompes "FLEX" acquises à cette fin (environ 21 kg/cm² / 305 psi). Cela impliquait de maintenir les pompes en marche dans une plage de (5 kg/cm² / 73 psi).

Cette marge d'action étroite et les difficultés à la maintenir pendant de longues périodes, ont amené l'inventeur à se demander s'il existait un moyen plus simple d'empêcher l'azote de l'accumulateur d'atteindre le circuit de refroidissement.

Après avoir évalué une série de propositions, il s'est rendu compte qu'il était possible de résoudre le problème au moyen d'une soupape de cloche pneumatique standard et d'une ouverture à ressort. Ceci pouvait être réalisé en installant cette soupape dans la partie gaz de l'accumulateur, et lors de l'ouverture elle permettrait de vider l'accumulateur dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement.

Pour la maintenir fermé en fonctionnement normal, la pression de l'accumulateur se transmet à la soupape. La pression élevée dans la cloche maintient le ressort d'ouverture comprimé et donc la soupape reste fermée tant que la pression est suffisante et s'ouvre lorsqu'elle est suffisamment dépressurisée en libérant l'azote dans l'atmosphère.

Voyant que cette disposition particulière des éléments était en mesure de résoudre ce grave problème de manière simple et autonome, l'inventeur a poursuivi sa réflexion sur les difficultés techniques que la mise en œuvre de ladite solution pourrait poser lors de son exécution physique. L'un des plus gros problèmes présentés était que la cloche de la soupape et sa membrane devaient être très robustes car elles devaient résister à la pression normale de l'accumulateur (environ 45 kg/cm² / 652 psi), le joints devait l'être également et la fermeture aussi serrée que possible.

Après un processus de recherche de solutions, l'inventeur à découvert une configuration qui, tout en maintenant la fonctionnalité et le même principe de fonctionnement, minimise le volume de la chambre soumise à la pression. La nouvelle conception était encore plus simple que l'initiale, ce qui la rendait idéale pour remplir sa fonction de sécurité. La membrane, la cloche et une soupape standard n'étaient plus nécessaires.

Maintenant tout le travail était fait par un obturateur raccordé au ressort. Ces éléments étaient suffisants pour atteindre la fonctionnalité recherchée. L'inventeur a continué à améliorer le design en intégrant dans sa conception initiale un système de commande pour pouvoir ouvrir et fermer la soupape au moyen de deux pistons actionnés par l'air. Ce système donne à la soupape des fonctionnalités supplémentaires, lui permettant de fonctionner manuellement et à distance.

Après cela, et en voyant les possibilités commerciales du prototype, l'inventeur a ensuite demandé le brevet du même modèle que celui indiqué dans la demande internationale PCT / ES2014 / 070383. À ce jour, le brevet est déjà accordé pour l'Union européenne, la Russie, l'Ukraine et le Japon.

4.2 Conception détaillée.

La conception initiale étant déjà en cours d'obtention d'un brevet, l'inventeur a contacté l'équipe de direction de la société *Ringo Válvulas SL*, spécialisée dans la fabrication de vannes et soupapes de tous types, y compris celles destinées à être utilisées dans les centrales nucléaires.

L'équipe d'ingénierie de *Ringo Válvulas*, conseillée par l'inventeur, a procédé à la conception finale des détails de la soupape ASVAD, de manière à ce qu'elle soit en conformité avec les normes internationales en vigueur et puisse être soumise à un processus de validation et qualification pour son utilisation dans les centrales nucléaires.

Une fois conçue, un prototype a été construit pour le soumettre aux différents tests de qualification détaillés ci-dessous. Tous ces processus ont suivi les procédures internes de *Ringo Válvulas*.

Le résultat final de cette conception est détaillé dans le document RV-E1306-3 de l'annexe I comprenant le plan de la soupape ASVAD mis à jour. La figure suivante montre une section à 90° de celle-ci dans laquelle tous ses composants internes peuvent être appréciés.

Nous devons signaler que les dimensions indiquées dans le document peuvent varier pour répondre aux différentes spécifications requises par les clients finaux. Par conséquent, certains paramètres ou parties peuvent subir des variations dimensionnelles.

Les révisions suivantes de la conception, qu'il s'agisse d'améliorations initiales ou de révisions à adapter à d'autres spécifications, fourniront au moins une analyse de l'applicabilité des résultats de cette étude.

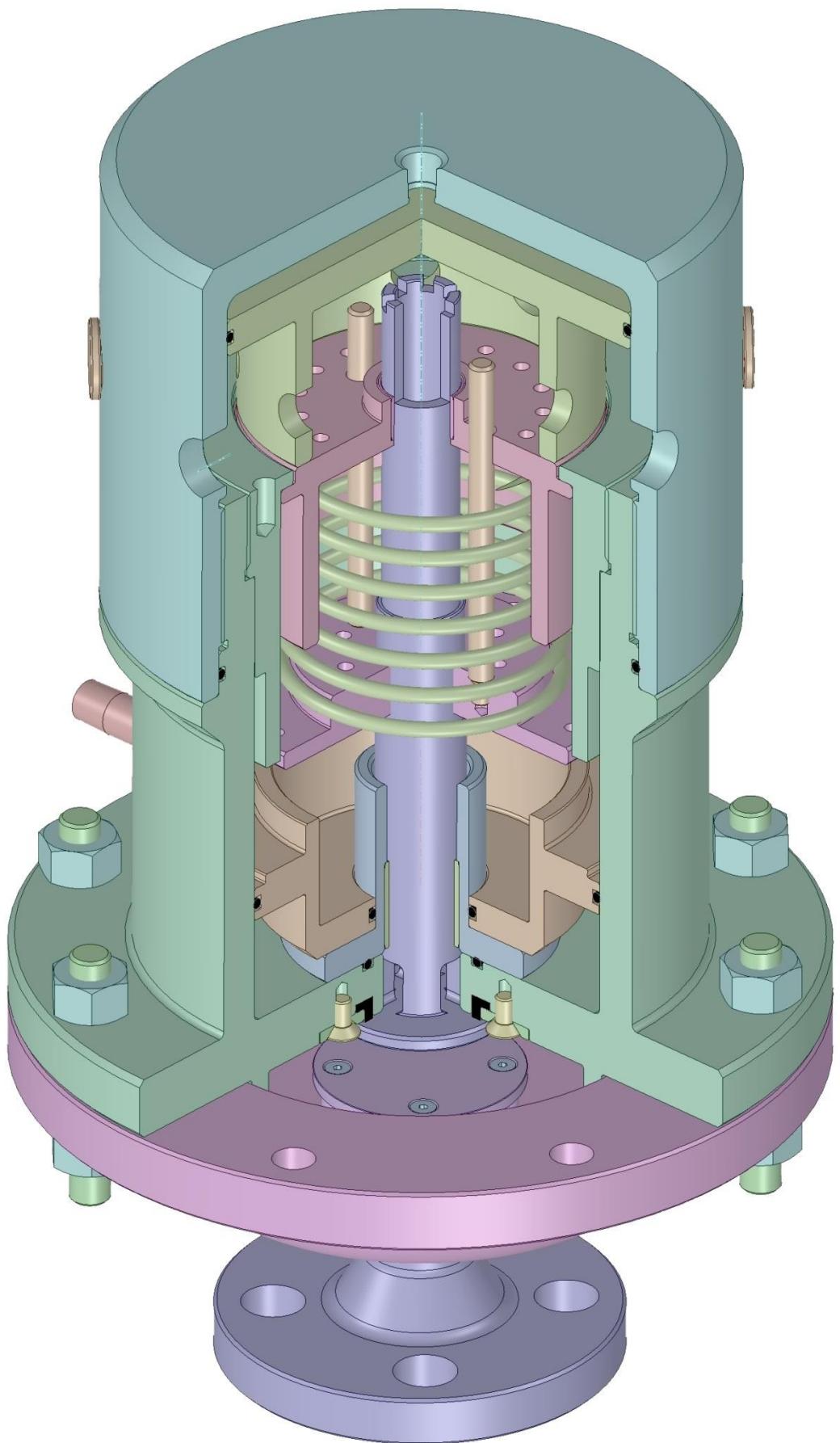


Figure 2. Configuration actuelle de la soupape ASVAD.

4.3 Principaux caractéristiques.

Les principaux paramètres qui ont déterminé le dimensionnement final de la soupape ASVAD sont les suivants:

- La pression/température de travail. Une pression de travail de 50 bar et une température de travail de 130°C ont été considérées. Elle correspond à la catégorie #300. Toutes les épaisseurs ont été dimensionnées avec ce critère. D'autres catégories peuvent être disponibles sur demande.
- Le diamètre interne de l'obturateur. Ce n'est pas une valeur critique, mais 1" a été choisi car il s'agit d'un diamètre similaire aux tuyaux sur lesquels la soupape sera montée. De nombreuses dimensions des éléments internes sont dérivées de cette valeur. Cela n'a d'effet que sur la vitesse de vidage de l'accumulateur, et il n'est pas considéré comme un paramètre important.
- La plage d'action. Elle est déterminée par la pression lorsque l'accumulateur est vide, environ 16 kg/cm². Une plage de réglage de ± 3 kg/cm² a été choisie autour de celle-ci. Différents paramètres sont dérivés de cette plage, tels que la surface utile de l'obturateur, la constante élastique du ressort et ses dimensions. Les dimensions du joint principal ont été choisies en tenant compte des surfaces soumises à la pression de l'accumulateur d'un côté et à la pression de confinement de l'autre, ainsi qu'à la force exercée par le ressort. D'autres gammes peuvent être obtenues en modifiant les principales caractéristiques du ressort.
- La course d'ouverture de l'accumulateur a été réglée à 20 mm. Cette valeur fournit une surface d'orifice de sortie > 1". À partir de ce paramètre, les dimensions du piston, la longueur de l'obturateur ainsi que d'autres sont dérivées. C'est également une valeur qui peut varier en fonction des besoins de l'utilisateur final.
- Une alimentation en air sous pression à la soupape entre 4 et 15 bar. Pour l'adapter à la pression standard de l'air comprimé. Le dimensionnement des pistons et de leurs chambres est dérivé de ces valeurs.
- L'épaisseur de la chambre de pression principale et du collet avec la bride ont été dimensionnés en tenant compte du ratio choisi de #300 et des effets mécaniques d'un séisme de 6G vertical / 8,5G horizontal.
- Le matériau de la soupape. L'acier inoxydable SA182 F316L a été choisi pour ses excellentes propriétés mécaniques et sa résistance à la corrosion.
- Le point d'ouverture de la soupape répond à la formule suivante:

$$P_{do(n)} = P_{do(0)} + RPDT * (T_{(n)} - T_{(0)}) + PA_{(n)} - PA_{(0)} - Rx$$

Où :

- $P_{do(n)}$ est la pression d'ouverture aux conditions n.
- $P_{do(0)}$ est la pression d'ouverture ajustée dans les conditions initiales.
- RPDT est le coefficient de dérive avec la température caractéristique du ressort et déterminé lors de la fabrication.
- $(T_{(n)} - T_{(0)})$ est la différence de température entre la température de la condition n et la température initiale réglée.
- $PA_{(n)} - PA_{(0)}$ est la différence entre la pression environnementale de la condition n et la pression environnementale du réglage initial.
- Rx est le coefficient de relaxation du ressort avec le temps caractéristique du ressort et déterminé lors de la fabrication.

5 PROGRAMME DE VALIDATION

Pour démontrer la fonctionnalité de la soupape à la fois dans des conditions de fonctionnement normales et dans des conditions d'accident postulées, les critères indiqués dans les normes ASME QME-1-2012 [6] ont été suivis.

Plus précisément, la section QR-5300 de la norme qui requiert:

1. La rédaction d'un document reprenant tous les critères de qualification que la soupape doit satisfaire, aussi bien en fonctionnement normal que dans les conditions accidentielles postulées.
2. La rédaction d'une série d'essais ou de documents démontrant que la soupape répond aux critères de qualification indiqués ci-dessus au moyen d'essais, d'analyses, d'expériences ou d'une combinaison de ces dernières.
3. Les résultats des tests auxquels la soupape a été soumise et qui démontrent de manière concluante l'accomplissement des critères indiqués.
4. La documentation générée pour la réalisation des étapes précédentes.

Étant donné que la soupape ASVAD peut être considérée comme fonctionnellement équivalente à une soupape de sécurité (catégorie B), les tests indiqués dans le tableau QV-7300 ont été pris en compte.

1. QV-I8000 Spécifications de la soupape.
2. QV-7650 Classement sismique (annexe QR-A).
3. QV-7660 Qualification fonctionnelle. (ASME chapitre III, sous NC)
4. QV-7620 Qualification Environnementale. (IEE-323/382 et annexe QR-B)
5. QV-7630 Indice de fuite. (ISO 5208-2008)

5.1 Fonctions de sécurité à valider.

Les fonctions de sécurité que la soupape ASVAD doit exécuter sont les suivants:

1. **Épuiser le gaz résiduel** qui reste dans les accumulateurs une fois qu'ils ont injecté toute leur phase liquide. Cette fonction est décrite dans la section 3.3.1.
2. **Maintenir l'étanchéité de l'accumulateur** jusqu'au moment de l'exécution de la fonction précédente. Cette fonction prend en charge la fonction de sécurité du système des accumulateurs.

Ces fonctions doivent être garanties avant, pendant et après les accidents postulés DBA, OBE et SSE. Les autres fonctions décrites dans les sections 3.3.2 à 3.3.5 sont des fonctions auxiliaires des fonctions principales mais pas de sécurité, mais ils sont également inclus dans cette validation.

5.2 Composants à qualifier.

Les tests de qualification seront appliqués au prototype ASVAD-1 fabriqué par *Ringo Válvulas SL*. Les tests seront effectués sur la soupape complète dans son ensemble. Cependant, les composants qui interviennent dans les fonctions de sécurité de la soupape ASVAD sont ceux explicitement décrits dans la section 3.3.1.

ÉLÉMENT	Fonction de sécurité	
	MAINTENIR L'ÉTANCHÉITÉ	ÉPUISER L'AZOTE
Bride d'entrée (173)	X	
Chambre de pression (25)	X	
Joint de fermeture de caméra (330)	X	
Joint du siège (70)	X	
Obturateur principal (1047)	X	X
Corps (5)	X	X
Ressort de régulation (1887)		X
Disque d'ajustement (1884)		X
Support des ressorts (177)		X
Cylindre de fermeture (931)		X

Tous les autres composants remplissent des fonctions qui ne sont pas directement liées aux fonctions de sécurité.

Tous les éléments métalliques de la soupape ASVAD sont relativement simples à qualifier, car ils ne présentent pas de dégradations ni d'affectations dues à des conditions de travail normales, ni à celles des accidents DBA (Design Basis Accident).

Les éléments non métalliques sont principalement constitués de joints souples en EPDM. Parmi eux, seuls le joint principal (70) et de fermeture de la chambre (330) remplissent une fonction directement liée à la sécurité (assurer l'étanchéité).

5.3 Méthodes de qualification.

Les méthodes choisies pour la qualification de la soupape ASVAD sont les suivantes:

- **Test sur banc d'essai.** Les tests appropriés permettront de vérifier que le prototype répond aux spécifications indiquées dans les conditions normales de travail et dans les conditions d'accident spécifiées par DBA. Pour cela, les procédures de test appropriées seront développées.
- **Par calcul.** Cette méthode est utilisée pour qualifier la soupape face aux effets sismiques et vibratoires.

Pour effectuer les tests de validation, un banc de test a été conçu et construit, dont les plans dimensionnels et d'aménagement UT-A2-000230-0 sont inclus dans l'annexe II. Ce banc d'essai, ainsi que les systèmes de réchauffement et d'enregistrement associés, est capable de soumettre la soupape ASVAD à des conditions normales et d'accident DBA pour les paramètres susceptibles d'influencer son fonctionnement.

Les seules variables externes pouvant influencer le fonctionnement de la soupape sont la température et la pression ambiante. Le banc d'essai a été conçu pour pouvoir soumettre l'ensemble de l'ASVAD aux plages de pression et de température pouvant apparaître pendant un accident DBA dans les centrales REP.

L'ensemble des tests de qualification a été rassemblé dans une série de procédures qui couvrent les fonctionnalités de la soupape ASVAD en fonctionnement normal et en cas d'accident DBA. Ces procédures sont jointes à l'annexe III.



Figure 3. Banc d'essai avec la soupape ASVAD après le test DBA.

5.4 Spécifications de la soupape ASVAD.

PARAMÈTRES DE TRAVAIL					
PARAMÈTRE		VALEUR MIN.	VALEUR MAX	UNITÉ	OBSERVATIONS
Pression de travail nominale	PN	n/a	50	Bar	
température de travail	T	0	50	°C	
pression ambiante	PA	0,9	1,1	Bar (abs)	
Pression d'actionnement	PD	13	19	Bar	Variable selon la température / pression
Incertitude du point d'ouverture		-	± 1% PN	Bar	
Débit de fuite	-	-	0	l/min	Pendant 10 min.
Pression sur le piston de fermeture	PPF	4	15	Bar	
Pression sur le piston d'ouverture	PPO	4	15	Bar	
Radiation		-	<10 ⁵	rad	Considérée comme sans affectation
Cyclage		1	<500	cycles	
PARAMÈTRES DE L'ACCIDENT					
température maximum	Tmax	-	150	°C	Pendant un minimum de 10h
Surpression interne acceptée		-	75	Bar	Jusqu'à 150% PN
Pression ambiante	PA	0,9	5	Bar	Pendant un minimum de 96h
Humidité		0	100	%	Considérée comme pas affectée
Radiation		0	> 150	mRad	Considérée comme pas affectée
Accélérations		-	6 (vert) 8.5 (Horiz)	g	Obtenu par calcul
fréquence de résonance			> 52	Hz	Obtenu par calcul
Rapport de dérive avec la température	RPDT	0	≤0,025	Bar/°C	(25°C-150°C)
Pulvérisation chimique		pH 4,3	pH 11		Considérée comme pas affectée
Inondation		n/a	n/a		Considérée comme pas affectée
PARAMÈTRES DIMENSIONNELS					
Ratio		-	#300		Autres ratios sur demande.
Diamètre de ventilation		-	1	pouce	Autres diamètres sur demande.
Connexion		-	DN25	-	Autres connexions sur demande
Poids		-	53	kg	
Volume		-	14.72	l	
Longitude		-	414,5	mm	
Diamètre max.		-	250	mm	
Matière principale		-	A182 F316L	-	
Joints		-	EPDM	-	
Vie qualifiée		9 *	Indéterminée	années	* éléments non métalliques

5.5 Spécifications de qualification.

5.5.1 Qualification environnementale (température).

Selon IEE-323-1974 [15], le profil de température à couvrir est le suivant:

- | | |
|---------------------------|------------------|
| • 0 - 10 secondes | 48,9°C à 148,9°C |
| • 10 secondes - 10 heures | 148,9°C |
| • 10 heures - 4 jours | 98,9°C |
| • 4 jours - 1 an | 75,0°C |

Compte tenu de la grande inertie thermique de la soupape qui empêche une montée rapide de la température, on considère que le temps zéro commence lorsque elle atteint 148,9°C. Pour la même raison, la réalisation d'un pic de température initial supérieur à 200°C et d'une durée inférieure à 3 minutes est écartée, ce qui est généralement pris en compte dans les spécifications environnementales de nombreuses centrales.

On considère que si l'action de la soupape est requise, on peut s'attendre à ce que cela se produise au cours des premières 48 heures après l'accident, l'essai peut être interrompu après ce temps. Cependant, selon le taux de fuite, le déchargement complet des accumulateurs peut être différé jusqu'à 24h, le test est prolongé pour couvrir deux fois le temps: 96h (4 jours).

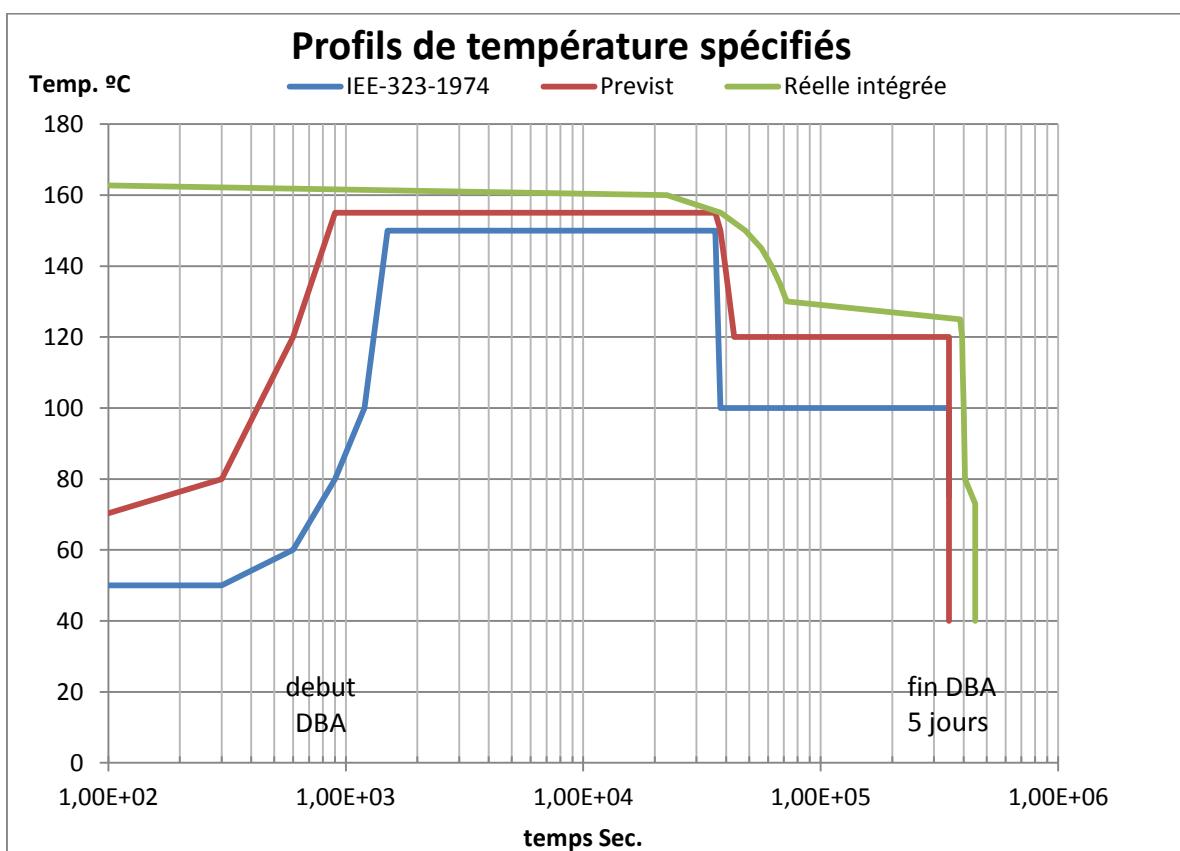


Figure 4. Profils de température spécifiés.

Comme il est prévu d'assurer une marge supplémentaire de 5°C, l'essai sera effectué à une température d'au moins 5°C supérieure à celle spécifiée pour toute la durée de l'essai. Cela garantit une couverture suffisante des conditions DBA.

5.5.2 Qualification environnementale (pression).

Selon IEE-323-1974 [15], le profil de pression environnemental à couvrir est le suivant:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| • 0 - 10 secondes | 0 à 4,82 Bar (0 – 68,5 psi) |
| • 10 secondes - 10 heures | 4,82 Bar (68,5 psi) |
| • 10 heures - 4 jours | 2,75 Bar (39 psi) |
| • 4 jours - 1 an | 0,34 Bar (5 psi) |

La durée de l'essai considérée est la même que dans la section précédente: 96h (4 jours). Il n'est pas nécessaire de poursuivre l'essai au-delà de 4 jours car, d'une part, les conditions environnementales redeviennent douces et d'autre part, la soupape aura rempli son rôle au moment de l'accident.

Comme il est prévu de garantir une marge supplémentaire de 10%, équivalente à 0,5 bar, l'essai sera effectué à une pression d'au moins 5,32 bar pendant toute la période d'essai. Cela garantit une couverture suffisante des conditions DBA.

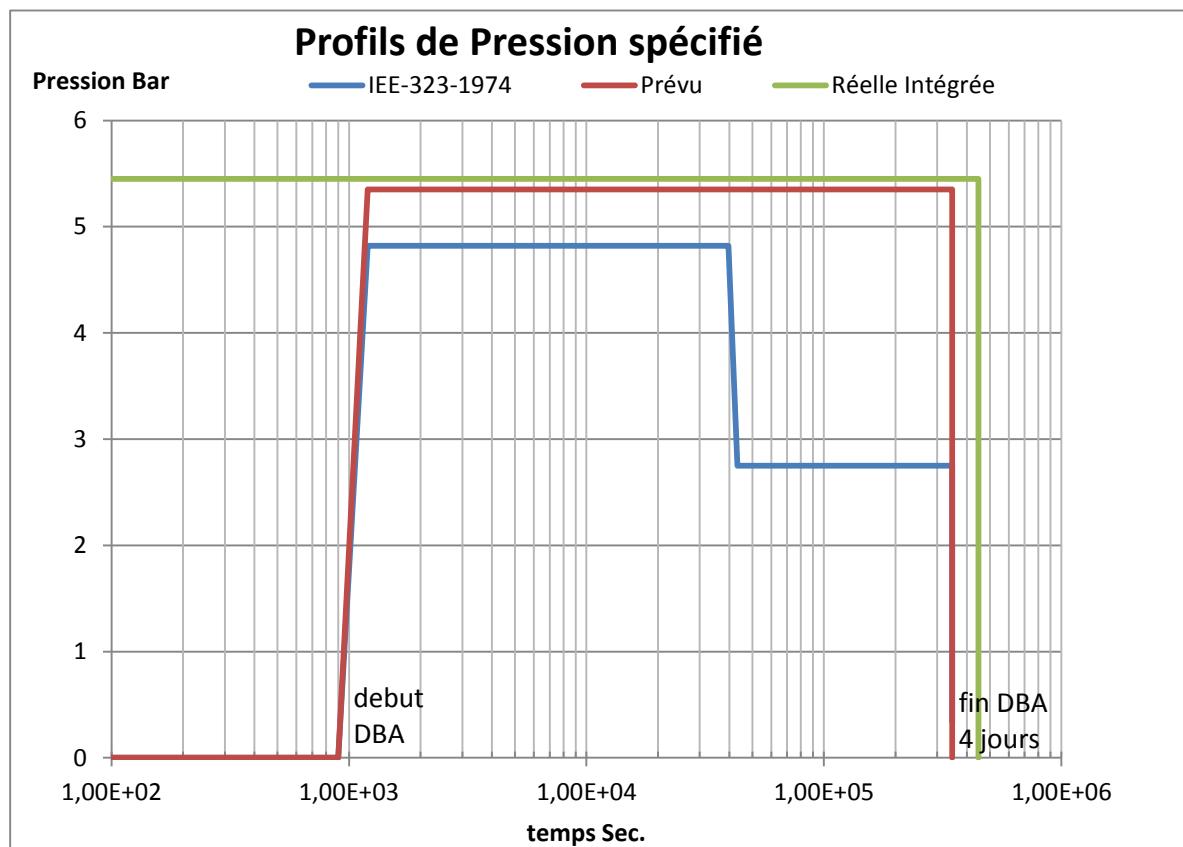


Figure 5. Profils de pression spécifiés.

5.5.3 Qualification sismique.

Le classement sismique de la soupape sera effectué par calcul en fonction des critères du code ASME III Div.1 Sous-section NC (Ed. 2007 addendum 2008) [11] & [14].

Les considérations suivantes seront prises en compte:

- Accélération verticale: 6 G
- Accélération horizontale: 8.49 G
- Fréquence de résonance ≥ 50 Hz.

Ces valeurs couvrent tous les séismes OBE et SSE pour les centrales situées dans des zones considérées comme non sismiques et la plupart de celles présentant un risque sismique. C'est l'utilisateur final qui devra vérifier que les valeurs indiquées répondent aux exigences spécifiques.

Le document de *Ringo Válvulas DC-6056-1* est joint à l'annexe IV, dans lequel les calculs effectués sont détaillés.

5.5.4 Qualification environnementale (autres variables).

Puisque la soupape ASVAD est insensible à:

- La radiation.
- L'humidité, la pulvérisation ou les inondations.
- La corrosion et les attaques chimiques.
- Les vibrations.
- Le cyclage.
- Le feu.
- La poussière et la saleté.
- Les projectiles.
- Les champs électromagnétiques.
- Les chocs électriques.
- Une activation radiologique.
- La dégradation et le vieillissement.

Il n'est pas jugé nécessaire d'effectuer des tests de validation sur ces variables. Dans cette section, les justifications objectives pour négliger l'exécution de tests spécifiques de résistance à ces variables sont détaillées.

5.5.4.1 Qualification pour radiation.

Étant donné que la configuration entièrement métallique de la soupape ASVAD la rend insensible aux effets des radiations, sa qualification n'est pas considérée comme nécessaire.

Les parties non métalliques de la soupape (joints d'étanchéité) sont installées à l'intérieur, elles sont donc protégées de l'influence de la radiation α et β .

Étant donné que la soupape sera installée dans une zone à faible radiation environnemental (zone périphérique du bâtiment), on ne considère pas que ces éléments non métalliques puissent subir un vieillissement.

Pour la même raison et parce que pendant son fonctionnement elle n'est pas en contact avec les fluides radioactifs extérieur ni intérieur, ses matériaux ne peuvent pas être activés radiologiquement.

Comme indiqué dans le rapport EPRI-NP-2129 [9] en ce qui concerne le matériau EPDM, il est capable de conserver 79% de sa résistance à la traction initiale après avoir absorbé des radiations pouvant atteindre 10^8 Rads. Ces niveaux sont bien supérieurs aux niveaux de radiation que l'on estime absorbés au cours de leur vie qualifiée, environ 10^4 Rads en 40 ans.

Ces joints ne sont pas soumis à des efforts dynamiques, mais doivent seulement résister à la pression statique jusqu'au moment où leurs performances de sécurité se produisent. Ce qui réduit encore plus leur sensibilité à cette dégradation. Ils sont correctement enchâssés pour distribuer les efforts.

Dans les conditions de l'accident et aux niveaux de radiation postulés ($<2 \times 10^8$ Rads), il n'y a pas assez de temps pour pouvoir affecter négativement la fonctionnalité de la soupape avant qu'elle n'exécute son action.

Pour toutes ces raisons, les effets de la radiation sur le fonctionnement de la soupape ne sont pas pris en compte.

5.5.4.2 Qualification d'humidité et d'inondation.

La configuration entièrement métallique de l'ASVAD (acier inoxydable A182 F316L) la rend insensible aux effets de l'humidité, de la pulvérisation et aux inondations, sa qualification n'est pas considérée comme nécessaire pour cette raison.

La soupape a une surface extérieure scellée. Cependant, il y a un orifice de 7 mm de diamètre qui communique avec l'intérieur pour égaliser la pression interne avec l'extérieur. Son faible diamètre empêche en grande partie l'entrée directe d'eau par éclaboussures. Seule une petite quantité, par condensation de la vapeur, peut entrer à l'intérieur.

Son installation en hauteur, au-dessus des accumulateurs, rend peu probable que des liquides puissent pénétrer à l'intérieur à cause d'une inondation. Pour remplir le bâtiment de confinement à des niveaux pouvant atteindre la position de la soupape, il faudrait une quantité supérieure à celle disponible dans les réservoirs des systèmes de remplacement.

Même dans le cas hypothétique d'inondation, la présence d'eau à l'intérieur n'empêcherait pas sa fonction de sécurité. Dans ce cas, le point d'ouverture est augmenté de 0,07 bar pour chaque mètre de colonne d'eau.

5.5.4.3 Qualification par pulvérisation chimique.

Tous les matériaux utilisés dans la construction de l'ASVAD (principalement de l'acier inoxydable A182 F316L) la rendent insensible à la dégradation par corrosion chimique.

Les parties non métalliques (joints) se trouvent à l'intérieur de la soupape et sont protégées ainsi que résistantes contre les pulvérisations de produits chimiques. D'autre part, le fluide à l'intérieur de la soupape sera toujours de l'azote/air.

Pour les mêmes raisons que dans la section précédente, dans le cas hypothétique où une certaine quantité de solution pourrait pénétrer à l'intérieur de la soupape, le matériau intérieur est également résistant à la corrosion et sa fonctionnalité ne serait pas non plus affectée.

5.5.4.4 Les effets des vibrations et du cyclage.

Il n'est pas jugé nécessaire de réaliser des tests pour vérifier leur résistance aux vibrations et au cyclage pour les raisons suivantes:

- La soupape est fermée pendant tout son fonctionnement normal et ne s'ouvre qu'en cas d'accident ou lors d'essais de fonctionnement périodiques. Cela annule pratiquement les effets indésirables par cyclage.
- Le tuyau qui rejoint l'accumulateur n'est pas sujet aux vibrations, car les accumulateurs sont des systèmes statiques passifs. Il n'y a pas de mouvement de fluide ou de changements rapides de la pression, ni en fonctionnement normal, ni en cas d'accident pouvant causer des vibrations.
- Ce n'est qu'après son action et une fois que sa fonction de sécurité remplie que le tuyau et la soupape peuvent être soumis à des débits de gaz élevés. Ceci n'est pas un problème, car le débit massique est très faible puisqu'il s'agit d'un gaz et ne dure qu'un temps limité.
- Lors de la sortie du gaz, il n'est pas prévu non plus que cela puisse provoquer des vibrations importantes dans la soupape ou dans la tuyauterie qui la supporte. C'est dû au faible débit massique du gaz et à la disposition symétrique des orifices de sortie. Cette disposition symétrique annulera les différentes forces de réaction qui se produisent dans chaque sortie, minimisant ainsi les contraintes mécaniques.
- Malgré tout ce qui précède, la soupape est suffisamment robuste pour pouvoir résister efficacement aux fortes vibrations pendant de longues périodes.

5.5.4.5 Qualification face aux incendies.

L'ASVAD est entièrement métallique, elle est donc insensible aux effets du feu (pendant des périodes limitées). De plus, elle ne contribue pas à la charge d'incendie et ne peut pas devenir un point d'ignition.

Pour toutes ces raisons, la résistance au feu n'est pas considérée comme nécessaire.

5.5.4.6 Résistance à la poussière et à la saleté.

Bien que l'intérieur de la soupape communique avec l'atmosphère de l'enceinte de confinement, cela se fait par un orifice de seulement 7 mm de diamètre. L'installation de bouchons dans les sorties de l'ASVAD garantit que ni la poussière ni la saleté ne puissent y être introduites à l'intérieur pendant le fonctionnement normal.

Dans l'hypothèse où de la saleté serait introduite lors de l'entretien courant de la soupape, elle ne pourrait avoir un effet adverse que si elle atteint la surface du joint principal et puisqu'il est toujours fermé ceci reste très improbable.

Si ces conditions se produisent, la soupape pourrait fuir, mais cela peut être facilement détectée et corrigée. Cependant, étant donné que ce joint reste complètement fermé tout au long de son fonctionnement normal, il est impossible que de la saleté puisse s'introduire dans cette zone, même si l'étanchéité de la soupape est perdue pour une autre raison.

Pour toutes ces raisons, sa qualification à la poussière et à la saleté n'est pas considérée comme nécessaire.

5.5.4.7 Résistance aux projectiles.

En ce qui concerne les éventuels projectiles produits par des ruptures dans des canalisations à haute énergie, la soupape ASVAD n'est pas susceptible d'être affectée par ceux-ci, étant donné sa robustesse intrinsèque, ainsi que son faible volume et ses formes arrondies.

On ne considère pas non plus que l'ASVAD puisse être une source de projectiles, même si les bouchons peuvent parcourir une petite distance (<5 cm) autour de la soupape lorsqu'ils sont expulsés pendant l'ouverture. Ces bouchons sont fixés les uns aux autres par un câble en acier qui empêche toute trajectoire importante (et toute perte).

Pour ces raisons, sa qualification n'est pas considérée comme nécessaire.

5.5.4.8 Résistance aux effets électriques et électromagnétiques

L'ASVAD est entièrement métallique et ne comporte aucun circuit électrique ou électronique, elle est donc à l'abri des phénomènes électromagnétiques. Pour la même raison, elle ne peut devenir un point de génération de champs électromagnétiques, ni produire de décharges électriques sur les éléments environnants.

5.5.4.9 Effets synergiques de dégradation/vieillissement.

La configuration métallique de la soupape ASVAD (acier inoxydable A182 F316L) la rend insensible aux effets normaux de la dégradation et du vieillissement,

Les éléments non métalliques sont classés séparément car ils peuvent être sujets au vieillissement thermique. La configuration du plan de test inclut une période de

vieillissement accéléré pour simuler l'effet du vieillissement en cours de fonctionnement normal.

Étant donné que la soupape ne sera pas soumise à des doses de radiations ni à des températures élevées ni à un stress mécanique différent de la pression statique pendant son fonctionnement normal, il n'y a aucune possibilité d'effets synergiques entre ces mécanismes de dégradation.

5.5.5 Processus de vieillissement accéléré.

Pour simuler la durée de vie qualifiée des éléments non métalliques de l'ASVAD, le prototype a été soumis à une période de vieillissement accéléré de 15 heures en maintenant la température à 120°C. Ces valeurs simulent un vieillissement opérationnel de 9 ans, soit la durée de vie qualifiée prise en compte pour les éléments non métalliques de la soupape.

Le processus de vieillissement accéléré est effectué dans le cadre de la procédure d'essai IN8-3-697, qui est jointe à l'annexe III.

Selon la formule d'Arrhenius,

$$t2 = t1 * \exp \left[\frac{\theta}{k} * \frac{T1 - T2}{T1 * T2} \right]$$

Où:

- $t1$ c'est le temps de fonctionnement dans des conditions de fonctionnement normales. Un temps de travail de **78'840** heures = 9 ans a été choisi.
- $t2$ C'est le temps de vieillissement nécessaire en heures.
- θ est l'énergie d'activation en eV (utilisée **1,35** eV [10]).
- k c'est la constante de Boltzmann (**8'617 E-5** eV/K).
- $T1$ est la température dans des conditions de fonctionnement normales (**323.15** °K = 50°C).
- $T2$ est la température de vieillissement appliquée (**393.15** °K = 120°C).

En remplaçant:

$$t2 = 78.840 * \exp \left[\frac{1,35 \text{ eV}}{8,617 \text{ E} - 5} * \frac{323,15 - 393,15}{323,15 * 393,15} \right]$$

Résultat: **$t2 = 14,1 \text{ h}$**

5.6 Plan de test de validation.

Un plan de test a été conçu pour vérifier la conformité aux spécifications de conception de la soupape et sa capacité à résister aux conditions de fonctionnement postulées lors d'un accident DBA. **Ce plan suit les directives données dans la norme IEEE 323-1983 [8].**

Cet ensemble de tests démontre l'adéquation de la conception et de la réalisation de l'ASVAD pour les fonctions de sécurité définies au paragraphe 5.1. Les tests effectués couvrent également les fonctions auxiliaires non liées à la sécurité.

Étant donné que les éléments les plus limitants en termes de durée de vie qualifiée sont des éléments non métalliques, il est prévu de démontrer une durée de vie qualifiée de 9 ans. Pour cela, ils auront besoin d'un vieillissement accéléré en fonction de la température, conformément à l'équation d'Arrhenius (voir détail à la section 5.5.5).

Le plan d'exécution des tests est développé dans le document IN8-3-695 ci-joint et sera le suivant:

1. Inspection initiale
2. Premiers tests de fonctionnement à température ambiante.
 - a. Test de surpression et de fuite.
 - b. Test d'action des pistons.
 - c. Test d'ouverture environnemental (5 séries).
3. Tests fonctionnels initiaux à la température et à la pression DBA.
 - a. Test d'ouverture à 40°C (5 séries) ambiante/1,12 bar (abs).
 - b. Test d'ouverture à 100°C (5 séries) ambiante/2,00 bar (abs).
 - c. Test d'ouverture à 140°C (5 séries) ambiante/4,76 bar (abs).
 - d. Test d'ouverture à différentes pressions/températures.
4. Processus de vieillissement accéléré (>15h à 120°C)
5. Tests fonctionnels en conditions d'accident DBA.
 - a. Début du test de qualification environnementale (4 jours)
 - b. Tests antérieurs de l'ouverture à 120°C et atmosphère à 2,00 bar (abs).
 - c. Test d'ouverture après DBA à 120°C et atmosphère à 2,00 bar (abs).
6. Test fonctionnel post DBA à température/pression ambiante.
7. Inspection finale de la soupape post DBA.
8. Calculs du comportement sismique.

Le tableau de correspondance entre les différents tests et les procédures du test est indiqué a-suite.

		PROCÉDURES DE TEST						
TYPE	TEST	IN8-3-696 Surpression et fuites	IN8-3-697 Ouverture	IN8-3-698 Test des pistons	IN8-3-699 Qualifications Environnementales			
FONCTIONNEL	Ouverture		(1)					
	Ouverture a (40°C)		(1)					
	Ouverture a (100°C)		(1)					
	Ouverture a (140°C)		(1)					
	Ouverture DBA à 2 bar (120°C)		(1)		(1)			
	Ouvertures à différentes pressions/températures		(1)					
	Capacité de fermeture			X				
	Capacité d'ouverture			X				
SPÉCIFICATIONS	Test de fuite maximum	(2)						
	Test de surpression	(2)						
	Plage de réglage d'ouverture		X					
	Pression minimale pour l'ouverture			X				
	Pression minimale pour la fermeture			X				
	Qualification environnementale				(1)			
QUALIFICATION	QV-7660 fonctionnel. (ASME chapitre III, NC)	(2)	(1)	X				
	QV-7620 Environnemental. (annexe QR-B)				(1)			
	QV-7630 Fuite. (ISO 5208)	(2)						
	QV-7650 Sismique. (annexe QR-A)		n/a (réalisé par calcul)					
NOTES	(1) = Fonction de sécurité: Épuiser l'azote.							
	(2) = Fonction de sécurité: Maintenir l'étanchéité.							
	X = fonction auxiliaire							

5.6.1 Procédures du test.

Six procédures de test ont été écrites pour couvrir l'ensemble des tests nécessaires à la vérification fonctionnelle et aux spécifications de l'ASVAD. Les procédures sont les suivantes:

5.6.1.1 Plan de test IN8-3-695.

Cette procédure est un résumé du processus de test à effectuer sur la soupape et elle inclue:

- Un journal du développement des tests et de leurs incidents s'il y en avait.
- Un résumé de la conformité aux spécifications pour chaque procédure effectuée.

5.6.1.2 Test de surpression et de fuite IN8-3-696.

Ce test vise à démontrer:

- La robustesse de la soupape contre les surpressions accidentielles.
- La conformité aux spécifications concernant les fuites maximales admissibles.

Ce qui répond partiellement aux exigences des spécifications (ASME, chapitre III, NC QV-6300 [14], et ISO 5208-2008 [12] pour la section des fuites.

Les critères d'acceptation pour ce test sont les suivants:

- **Surpression.** Lorsque la chambre inférieure de la soupape est sous pression à 150% de PN, aucune fuite de pression n'est observée dans la soupape pendant 10 minutes.
- **Fuites.** Lorsque la chambre inférieure de la soupape est sous pression à 110% de PD, aucune fuite de pression n'est observée par l'obturateur de la soupape pendant 10 minutes.

5.6.1.3 Test d'ouverture IN8-3-697.

Ce test vise à démontrer:

- La répétabilité au point d'ouverture de la soupape. L'accomplissement de la dispersion maximale spécifiée.
- L'accomplissement des spécifications concernant la dérive autorisée du point d'ouverture avec la température.
- L'accomplissement des spécifications concernant la plage de réglage du point d'ouverture.
- Accessoirement, le processus de vieillissement accéléré des joints EPDM est effectué dans le cadre de cette procédure.
- La possibilité de l'ajuster dans une plage spécifiée.

Ce qui répond à la conformité partielle des exigences fonctionnelles selon (ASME cap. III, NC)[11].

Les critères d'acceptation pour ce test sont les suivants:

- **Plage d'ajustement minimale.** Lorsque la soupape est réglée sur sa valeur inférieure, l'ouverture se produit à une valeur inférieure ou égale à celle spécifiée.
- **Plage d'ajustement maximale.** Lorsque la soupape est réglée sur sa valeur supérieure, l'ouverture se produit à une valeur supérieure ou égale à celle spécifiée.
- **Dispersion de l'ouverture.** Lorsque la soupape est réglée à 50% de sa plage de réglage (env.), ses ouvertures se produisent avec une dispersion maximale de \pm 1% PN supérieure à la valeur moyenne d'ouverture pour les températures testées.
- **Ouverture Vs Température.** Le pourcentage de dérive avec la température (RPDT) obtenu est inférieur ou égal à celui spécifié.
- **Ouverture en cas d'accident.** En soumettant la soupape aux conditions de pression et de température prévues dans un accident, elle se déclenche à une valeur ne s'écartant pas de plus de \pm 1 bar de la valeur de pression attendue dans l'accumulateur dans ces conditions.
- **Phase de vieillissement accéléré.** La soupape a été soumise à une température de $120^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ pendant au moins 15 heures.

5.6.1.4 Test des pistons IN8-3-698.

Ce test vise à démontrer la fonctionnalité des pistons (ouverture et fermeture) dans toutes les conditions de fonctionnement de la soupape.

Ce qui répond à la conformité partielle des exigences fonctionnelles selon (ASME chapitre III, NC).

Les critères d'acceptation pour ce test sont les suivants:

- **Système de fermeture:** Avec le ressort réglé à sa tension maximale, la soupape en position ouverte (ouverture) et sa chambre inférieure en communication avec l'atmosphère, la pression minimale requise pour la fermeture (PMF) obtenue est inférieure ou égale au minimum indiqué dans les spécifications.
- **Système de fermeture:** La chambre du piston de fermeture peut supporter et maintenir l'étanchéité à la pression maximale pendant 10 minutes.
- **Système d'ouverture.** Le ressort réglé à sa tension minimale, la soupape en position fermée et sa chambre inférieure à une pression de 110% du PN, la pression minimale requise pour l'ouverture (PMO) obtenue est inférieure ou égale au minimum indiqué dans les spécifications.
- **Système d'ouverture.** La chambre du piston d'ouverture est capable de supporter et de maintenir l'étanchéité à la pression maximale pendant 10 minutes.

5.6.1.5 Test de qualification environnementale IN8-3-699.

Ce test vise à démontrer la fonctionnalité de l'ouverture de la soupape pendant et après avoir été soumise aux conditions environnementales d'un accident DBA (pression environnementale et température).

Ce qui répond aux exigences des spécifications (ASME annexes QR-A et IEE-323-1974 [15]).

Les critères d'acceptation pour ce test sont les suivants:

- **Ouverture en DBA.** Après 96 h dans des conditions ambiantes de DBA et le maintien de ces conditions, la soupape se déclenche à la pression ($\pm 1\%$ PN) prévue dans ces circonstances.
- **Ouverture post-DBA.** Après avoir réussi le test des conditions environnementales de DBA, mais déjà dans des conditions atmosphériques, la soupape se déclenche à la même pression ($\pm 1\%$ PN) qu'avant l'accident dans les mêmes circonstances.

5.6.1.6 Test d'inspection visuel IN8-3-700.

Ce test vise à démontrer l'état visuel de la soupape avant et après avoir été soumise aux conditions environnementales de DBA (pression ambiante et température).

Il n'y a pas de critères d'acceptation spécifiques, ceux-ci sont laissés à l'appréciation de l'inspecteur.

5.7 Résultats.

Les résultats des tests effectués sont inclus dans l'annexe V. On constate de l'analyse des tests, que le prototype répond de manière satisfaisante aux critères spécifiés dans tous les tests effectués.

Résumé des résultats		Paramètres de test			
TYPE	TEST	Procédure	Critères	Valeur obtenue	Répond aux critères
FONCTIONNEL	Ouverture environnementale	IN8-3-697	n/a	17,49 bar	OUI
	Ouverture (@ 3 bar(a) 100°C)	IN8-3-697	19,2 bar	19,20 bar	OUI
	Ouverture (4,8 bar(a) 140°C)	IN8-3-697	20,8 bar	20,65 bar	OUI
	Dispersion du point d'ouverture	IN8-3-697	<1% PN = 0,5 bar	0,2% PN = 0,1 bar	OUI
	Rapport de dérive avec la température (RDT)	IN8-3-697	≤ -0,025 Bar/°C	≤ -0,005 Bar/°C	OUI
	Pression d'ouverture minimale	IN8-3-697	≤ 13,1 bar	12,38 bar	OUI
	Pression d'ouverture maximale	IN8-3-697	≥ 19 bar	22,62 bar	OUI
	Capacité de fermeture	IN8-3-697	Se ferme	Se ferme	OUI
	Capacité d'ouverture	IN8-3-697	S'ouvre	S'ouvre	OUI
SPÉCIFICATIONS	Test de fuite maximale @ 110% PD = 17,6 bar	IN8-3-696	Pas de fuite	Pas de fuite	OUI
	Test de fuite maximale @100% PN = 50 bar	IN8-3-696	Pas de fuite	Pas de fuite	OUI
	Test de fuite maximum @150% PN = 75 bar	IN8-3-696	Pas de fuite	Pas de fuite	OUI
	Pression du début des fuites	IN8-3-696	1 bar > PD	1 bar	OUI
	Pression minimale pour l'ouverture	IN8-3-698	4bar	2,90 bar	OUI
	Pression minimale pour fermeture	IN8-3-698	4bar	3,54 bar	OUI
	Pression maximale pour l'ouverture	IN8-3-698	15 bar	15 bar	OUI
	Pression maximale pour fermeture	IN8-3-698	15 bar	15 bar	OUI
	Temps de vieillissement	IN8-3-697	> 14,1h	15h	OUI
QUALIFICATION	Ouverture pré-DBA @ 2,06 bar (a) / 120°C	IN8-3-699	n/a	17,58 bar	OUI
	Ouverture post-DBA @ 2,06 bar (a) / 120°C	IN8-3-699	n/a	17,37 bar	OUI
	Ouverture post DBA @ Penv/Tenv	IN8-3-699	n/a	16,9 bar	OUI
	Intégrité de la soupape post DBA	IN8-3-700	Sans dommage	En bon état et opérationnelle	OUI

5.7.1 Résultats des tests d'ouverture.

Les tests fonctionnels effectués avec la procédure IN8-3-697 couvrent la plage de températures et de pressions en fonctionnement normal et d'accident DBA. Plusieurs séries de 5 ouvertures ont été réalisées, toutes à différentes températures et pressions externes, pour connaître l'effet des deux variables sur le point d'ouverture de la soupape.

La soupape a été ajustée approximativement à son point médian pour tous les tests d'ouverture, à l'exception des tests de plage minimale et maximale dans lesquels le réglage a été effectué d'un extrême à l'autre. Toutes les ouvertures ont été réalisées en armant et en pressurisant au-dessus du point d'ouverture prévu. Dans ces conditions, une petite fuite a été provoquée qui a lentement abaissé la pression dans la chambre jusqu'au moment où l'ouverture de la soupape s'est produite.

Compte tenu de la dépressurisation rapide de la chambre, le point d'ouverture exact a été obtenu au moyen d'un transmetteur de pression électronique à réponse rapide. Les données relatives à l'évolution de la pression ont été traitées dans un enregistreur à grande vitesse avec une résolution temporelle de 2 msec. Un exemple des graphiques de pression obtenus est représenté dans la figure où les 5 ouvertures de la série sont superposées dans les 0,2 secondes qui précèdent l'ouverture.

Des séries de 5 ouvertures ont été réalisées pour obtenir avec des statistiques suffisantes le point d'ouverture réel de la soupape, ainsi que pour connaître l'incertitude et la dispersion des valeurs d'ouverture.

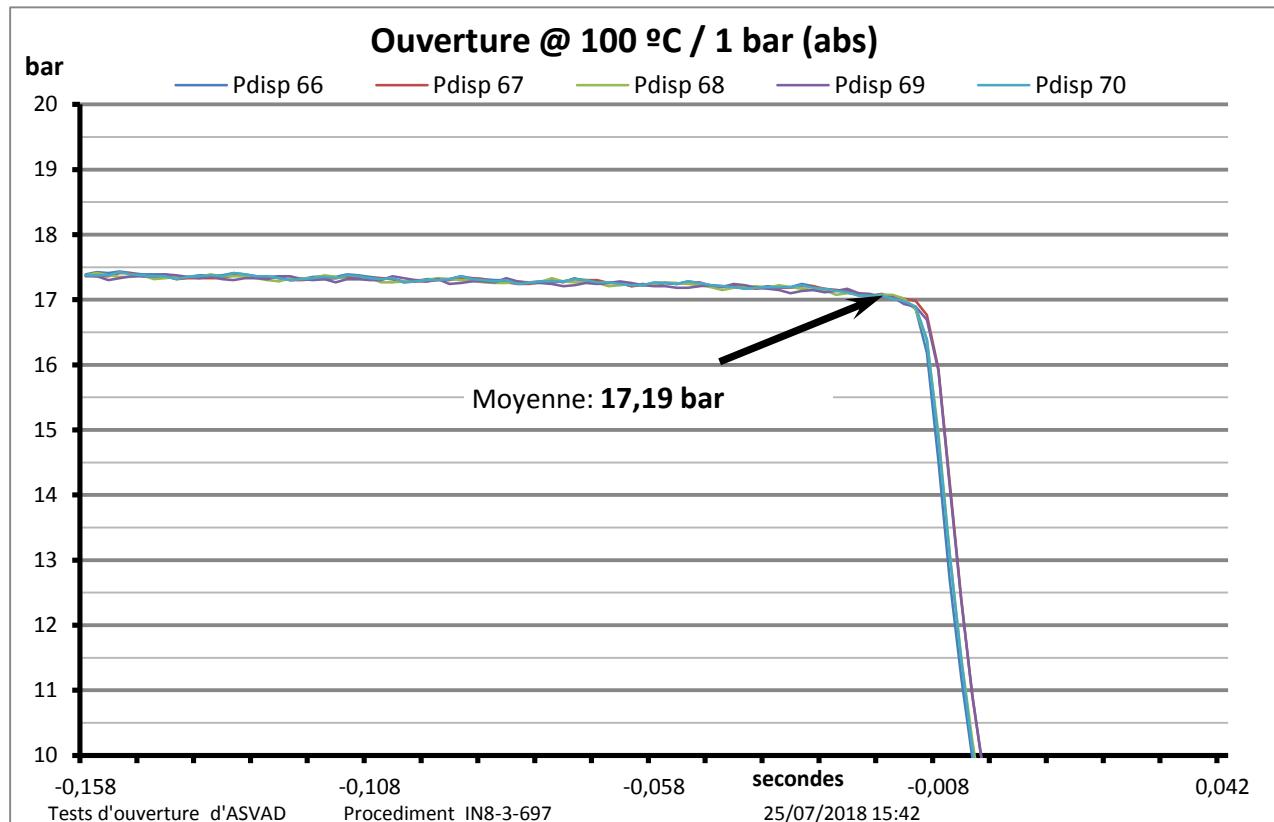


Figure 6. Graphique des ouvertures à 100°C / 1 Bar.

Il est facile de constater que toutes les ouvertures de la soupape se produisent pratiquement à la même pression avec une dispersion minimale. Dans le cas présenté ci-dessus, la dispersion est de $\pm 0,04$ bar ($<0,1\%$ PN).

La figure suivante résume la série d'ouvertures réalisées aux différentes températures et pressions testées. À partir de l'observation du graphique, il est possible de dissocier le faible effet de la température, ce qui donne une valeur de $-0,005$ bar/ $^{\circ}\text{C}$ dans la plage de travail de 40°C à 140°C .

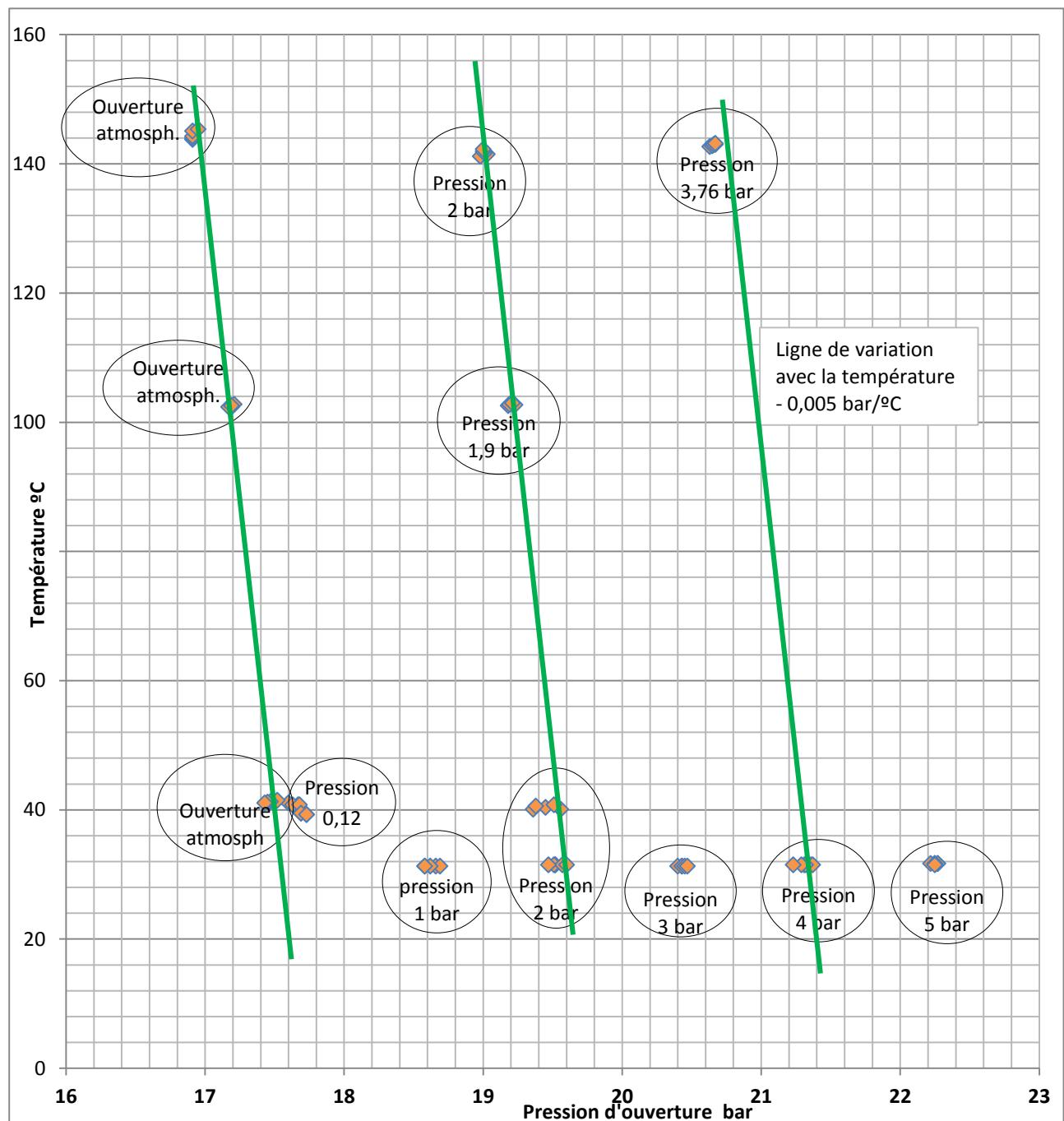


Figure 7. Graphique des ouvertures en fonction de la température et de la pression.

On peut également constater que l'influence de la pression environnementale est proche de l'unité. On peut déduire des résultats obtenus que pratiquement une augmentation de 1 bar de la pression externe, entraîne la même augmentation de la pression d'ouverture. Ceci est cohérent avec le rapport des surfaces effectives de l'obturateur au moment de l'ouverture.

5.7.2 Résultats de la qualification environnementale (température).

Les tests fonctionnels effectués avec les procédures IN8-3-697 et IN8-3-698 couvrent la plage de températures de fonctionnement normales et des accidents DBA. Le test IN8-3-699 combine la température et la pression ambiante, simulant un grave accident LOCA ou HELB. La durée du test IN8-3-699 donne une couverture complète à ces accidents.

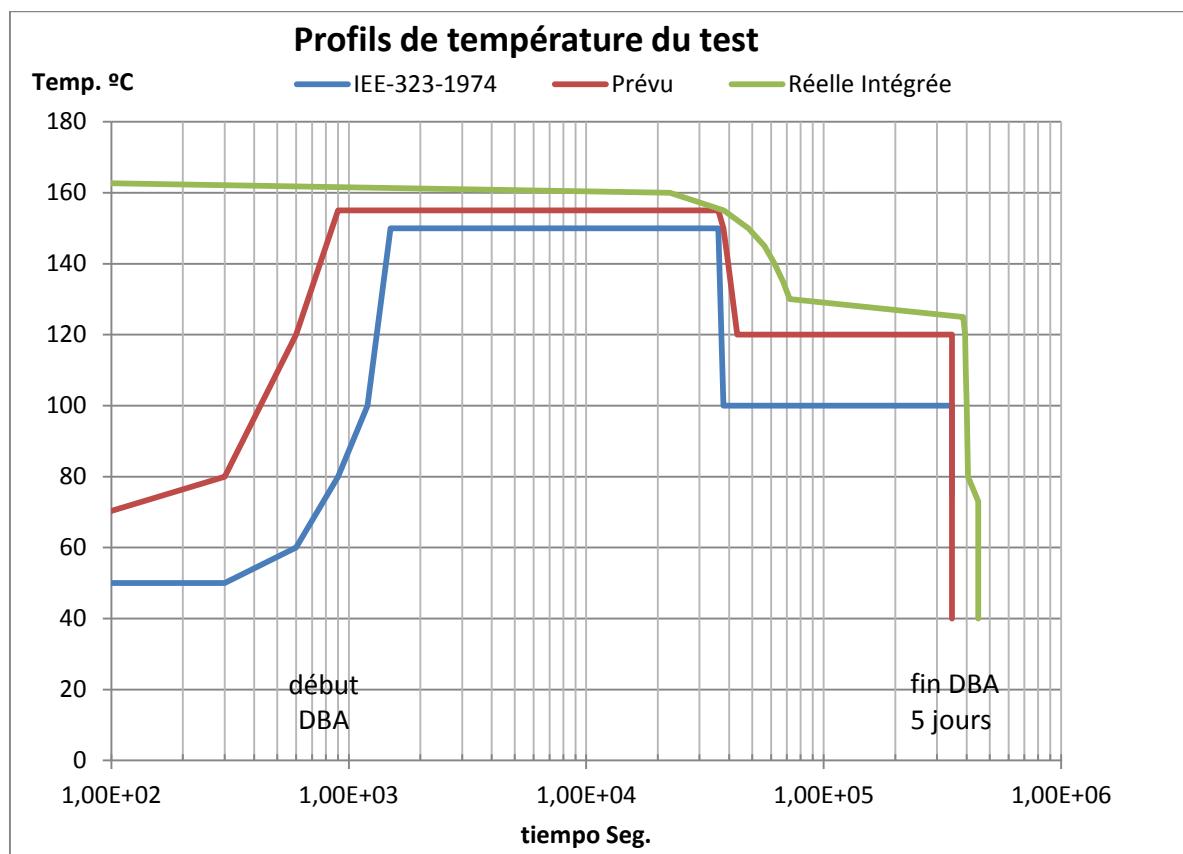


Figure 8. Profils de température du test.

On peut facilement vérifier que le profil indiqué dans la spécification IEE-323-1974 [15] a été couvert.

Voici un résumé des résultats:

- Température maximale atteinte: **165°C**
- Temps supérieur à 160 ° C: **6h25**
- Temps au dessus de 155°C **10,5h**
- Temps au dessus de 150°C **13,4h**
- Temps entre 150°C et 120°C: **96,1h (4 jours)**
- Temps entre 120°C et 100°C: **1,5h**
- Durée totale du test: **124h 5 jours 4h**

Les tests montrent que la soupape est capable de résister aux conditions de température prévues dans l'enceinte de confinement pendant plus de 124 heures. Après avoir supporté le profil de température spécifié, la fonctionnalité de la soupape est démontrée, provoquant son actionnement et vérifiant qu'elle agit approximativement au point prévu.

Lors des tests de qualification, la vitesse de réchauffement pour la première phase a posé des problèmes. Cela a empêché que le nombre d'heures requis (10h) à une température de 160°C ne soit pas atteint. Ce fait a été confirmé à la fin de la période d'essai de 4 jours, donc, une nouvelle phase de réchauffement supplémentaire à la fin de l'essai a été incluse et cette fois, les temps ont été atteints.

Nous considérons que ce changement d'ordre dans le réchauffement ne modifie pas la qualité du test, car les temps de réchauffement intégrés auxquels la soupape a été soumise dépassent de loin ceux établis dans les spécifications du test. Dans le graphique 8, les durées **intégrées** et les températures auxquelles l'ASVAD a été soumise lors du test de qualification sont indiquées en vert.

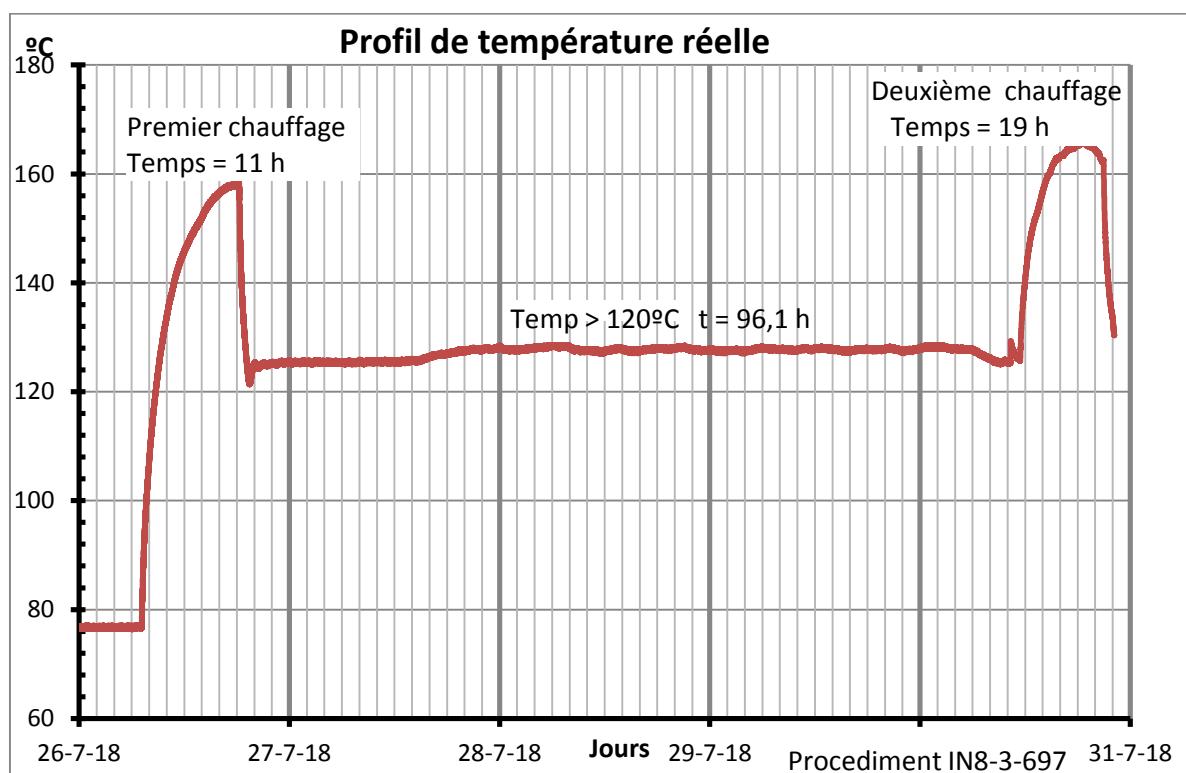


Figure 9. Profil réelle de température du test.

5.7.3 Résultats de la qualification environnementale (pression).

Le test fonctionnel réalisé avec la procédure IN8-3-699 couvre la plage de pressions environnementales en fonctionnement normal et des accidents DBA.

Lors des tests de qualification, la pression ambiante a été maintenue pendant toute la durée à une valeur supérieure de 5,4 bar et la pression à l'intérieur de la soupape a été maintenue à 110% de PN (55 bar). Elle n'a été dépressurisée jusqu'à 1 bar qu'à la fin du test et juste avant de procéder à l'ouverture post DBA.

On peut facilement vérifier que le profil indiqué dans la spécification IEE-323-1974 [15]. a été largement couvert. Voici un résumé des résultats des tests de qualification:

- Pression maximale atteinte: **5,5 bar**
- Temps supérieur à 5,3 bar: **124,2 h (5j 4h).**

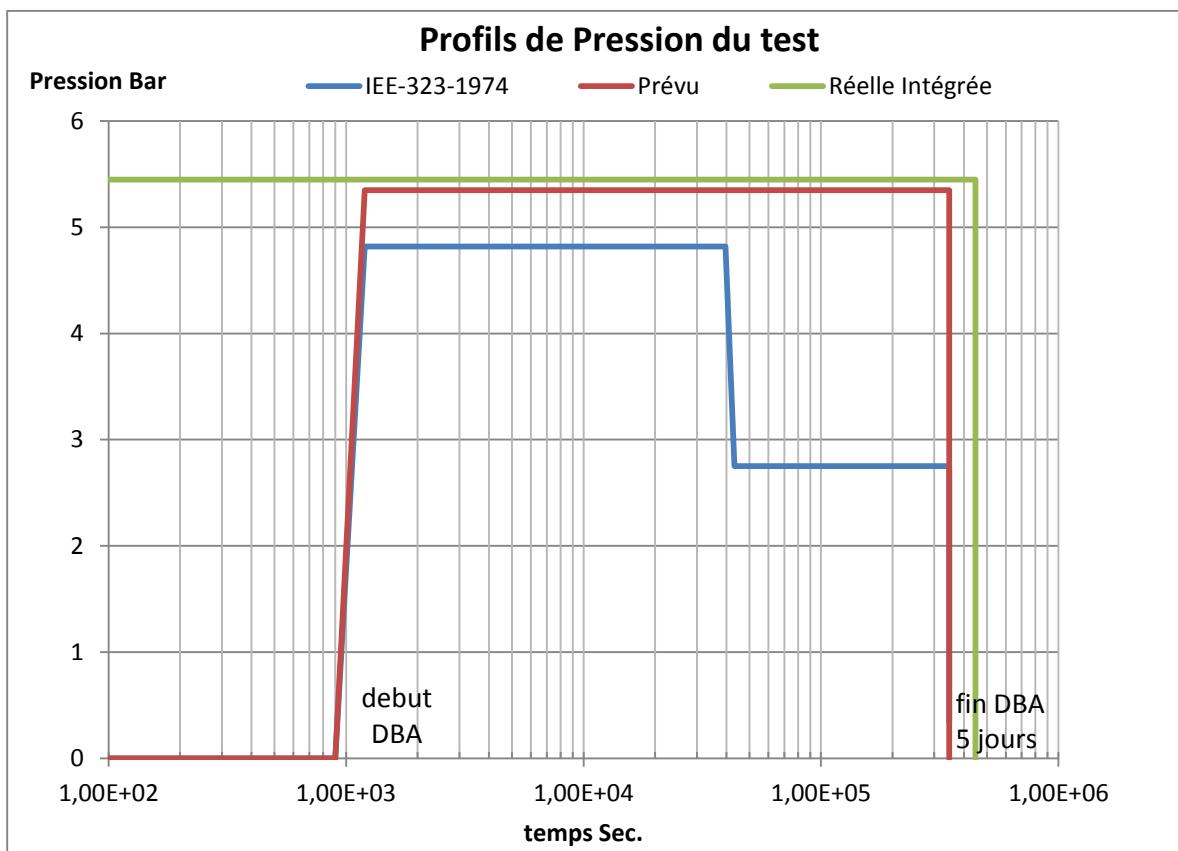


Figure 10. Profils de Pression du test.

La première ouverture faite après le test DBA donne un résultat de **17,39** bar (247 psi), clairement similaire aux ouvertures précédentes qui donnaient une moyenne de 17,58 bar (250 psi). Après la première ouverture, quatre autres ont été effectuées, en vérifiant que la soupape fonctionnait également correctement dans la fonction armée (et non de sécurité). La moyenne de ces 5 ouvertures donne une valeur de 17,37 bar (247 psi) avec une dispersion de seulement **0,03** bar (0,4 psi) entre elles.

Il est facile de déduire des résultats des tests de qualification que l'ASVAD est très résistante aux effets de la température et pratiquement insensible aux effets de la pression ambiante qui sont, par ailleurs, déjà envisagés dans son fonctionnement.

5.7.4 Qualification sismique.

La valeur sismique de la soupape a été réalisée par calcul. Ces calculs sont documentés dans l'annexe IV.

D'après les résultats obtenus, il est clair que l'ASVAD est conforme à toutes les exigences spécifiées IEEE-344-2004 [7] et ASME III, division 1, sous-section NC [11] & [14], et qu'elle est prête à résister aux effets d'un séisme SSE sans perte de capacité et à remplir sa fonction de sécurité prévue.

6 ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE

6.1 AMDE (Analyse des Modes de Défauts et Effets) générique de l'ensemble de la soupape ASVAD.

Dans cette section, nous présentons une analyse générique des défaillances de l'ASVAD, considérées comme un ensemble fonctionnel. À partir de l'analyse effectuée, trois états de défaillance différents peuvent être déterminés et l'affectation éventuelle du point d'action est ajoutée:

6.1.1 Défaillance en position ouverte.

Dans ce mode de défaillance, la soupape reste en position ouverte ou avec un effet similaire. Le résultat final de **cette** erreur a comme conséquence la dépressurisation complète de l'accumulateur affecté.

Ce type de défaillance peut se produire lorsque la chambre de pression de la soupape ou son joint perdent leur intégrité structurelle. Les possibles causes sont les suivantes:

- L'impact de projectiles à haute énergie qui peuvent endommager la chambre de pression. Très faible probabilité d'occurrence.
- Des anomalies dans l'intégrité des matériaux dues à des défauts cachés, à des efforts excessifs, à des surpressions, etc. Très faible probabilité d'occurrence.
- L'ouverture intempestive du système de commande à distance (si implanté) à cause d'une défaillance et/ou du blocage du piston d'ouverture dans sa position inférieure après son actionnement. Très faible probabilité d'occurrence car elle nécessite une **energization**.

Cette défaillance peut être détectée de la même manière que dans tous les autres éléments du système: en surveillant la pression interne dans l'accumulateur ainsi que ses alarmes de basse pression correspondantes.

Le plan d'intervention prévu pour ces conditions est la fermeture de la vanne manuelle précédente qui l'isole de l'accumulateur. Une fois fermée, la pression normale de l'accumulateur peut être récupérée par les systèmes existants. Après cela, la maintenance peut être effectuée sur place ou simplement remplacer la pièce par une de rechange.

Ce type de défaillance **est identique** aux défaillances dues aux ruptures de tout autre élément du système soumis à la pression, qu'il s'agisse de tuyaux, de raccords, de vannes ou d'éléments connectés au processus. Tout ceci est déjà pris en compte dans l'étude de sécurité du système des accumulateurs et **ne constitue pas une nouvelle défaillance non évaluée**.

6.1.2 Défaillance en position fermée.

Dans ce mode de défaillance, la soupape reste en position fermée ou avec un effet fonctionnel similaire. Le résultat final sera la non-évacuation de l'azote résiduel.

Les possibles causes fondamentales sont les suivantes:

- Une rupture ou perte de force du ressort principal. La probabilité d'occurrence est extrêmement faible compte tenu de sa robustesse.
- Le blocage mécanique de l'obturateur en position fermée. Probabilité d'occurrence extrêmement faible compte tenu du la marge disponible dans le déclencheur.
- Des anomalies dans l'intégrité des matériaux dues à des défauts cachés, à un effort excessif, à une rupture des fils, etc. qui ne sont pas lié à la chambre de pression. Très faible probabilité d'occurrence.
- Une défaillance du système de fermeture à distance (si implanté) et/ou du verrouillage du piston de fermeture dans sa position supérieure après son actionnement. Très faible probabilité d'occurrence car il faut énergiser ces éléments. Au cours de l'accident, l'air sous pression est perdu du fait de l'isolement de l'enceinte de confinement, ce qui rend cette défaillance encore plus improbable.
- Vanne d'isolement oubliée en position fermée. Faible probabilité d'occurrence.

En fonctionnement normal, cette défaillance n'a aucun effet négatif sur le système, car elle coïncide avec la position de fonctionnement de la soupape. Cependant, lors de l'accident, celle-ci ne pourra pas remplir sa fonction de sécurité. L'effet obtenu **est identique à la situation actuelle** mais sans la soupape installée.

La manière de découvrir cette défaillance est similaire à celle d'autres composants mécaniques du système, tels que les vannes de protection contre les surpressions. Elle ne peut être découverte que par son test fonctionnel périodique. Dans le cas de l'ASVAD, le test peut être effectué même en fonctionnement normal car il est possible d'isoler la vanne d'accumulation à l'aide de la vanne d'isolement manuelle.

Puisqu'il n'y a pas d'effets indésirables en cours de fonctionnement normal, il n'y a pas de plan d'urgence. Une fois que le problème est découvert au cours des tests périodiques, l'action à entreprendre sera la maintenance corrective de la soupape.

Ce type de défaillance est similaire à l'état actuel du système mais sans la soupape installée. Tout **ceci est déjà pris en compte dans l'étude de sécurité** du système des accumulateurs et ne constitue pas une nouvelle défaillance non évaluée.

6.1.3 Défaillance en position non fermée (fuites).

Dans ce mode de défaillance, la soupape ne reste pas complètement fermée, mais elle n'est pas complètement ouverte non plus. Elle présente une quantité de fuite à travers son joint qui ne peut pas provoquer son ouverture complète. Le résultat final de cette défaillance est la perte progressive de pression dans l'accumulateur, jusqu'à l'action de la soupape à cause de la dépressurisation et vide complètement l'accumulateur affecté.

Ce mode de défaillance peut avoir les mêmes causes que celle en position ouverte, bien que la cause la plus probable soit due à des fuites au niveau des joints de fermeture de l'obturateur et de la chambre de pression. Les possibles causes sont les suivantes:

- La dégradation mécanique ou chimique du joint de fermeture ou des joints de la chambre de pression. Très faible probabilité d'occurrence puisque le joint est complètement encaissé à tout moment et ne fonctionne que de manière statique.
- La présence de saleté ou d'éléments étrangers dans le joint en raison d'un mauvais entretien. Probabilité de très faible d'occurrence puisque ce défaut serait découvert après la mise sous pression.
- Des anomalies dans l'intégrité des matériaux dus à des défauts cachés, à un effort excessif, à une surpression, aux effets de la température, à la radiation, etc. Très faible probabilité d'occurrence.

Cette défaillance peut être détectée de la même manière que celle en position ouverte: En surveillant la pression de l'accumulateur et ses alarmes de basse pression. Dans ce cas, la capacité de réponse à cette défaillance est supérieure en raison de la lente évolution de la perte de pression, qui dépend du débit de fuite.

Le plan d'urgence consiste à fermer la vanne manuelle précédente qui l'isole de l'accumulateur. Une fois isolée, la pression normale de l'accumulateur peut être récupérée par les systèmes existants. Après cela, la maintenance peut être effectuée sur place ou simplement remplacer la pièce par une de rechange.

Ce type de défaillance est similaire aux défaillances dues aux fuites de tout autre élément du système soumis à la pression. Tout ceci est déjà pris en compte dans l'étude de sécurité du système des accumulateurs et **ne constitue pas une nouvelle défaillance non évaluée.**

6.1.4 Incertitudes du point d'action pendant un accident.

Bien que cela ne puisse être considéré comme une défaillance, l'éventuelle déviation du point d'ouverture de la soupape lors d'un accident a également été envisagée. Dans cette section, nous analysons les causes possibles pouvant la pousser à agir en dehors de la marge souhaitée. **On peut appeler cette section comme l'incertitude au point d'action de la soupape.**

L'impact de ces éventuels écarts sur le système dépendra du fait que l'action ait lieu avant ou après le point de pression prégréglé. Si elle se produit en avance, elle entraînera une perte de la capacité d'injection du volume de liquide qui reste dans l'accumulateur à ce moment, si au contraire, elle se produit en retard, une certaine quantité d'azote peut pénétrer dans le système RCS.

Ce type de déviation peut être dû à des causes dérivées de l'accident, telles que:

- a) La diminution de la tension mécanique du ressort (relaxation) due à l'effet du réchauffement de l'ASVAD à cause de l'augmentation locale de la température dans l'enceinte de confinement. Cela peut provoquer que la soupape agisse à une pression inférieure à celle spécifiée.
- b) Le relâchement de la tension mécanique du ressort sous l'effet du temps et des contraintes mécaniques. L'effet produit est similaire à celui de la section a).
- c) L'augmentation de la pression et de la température dans l'enceinte de confinement et son effet sur la l'équilibre de l'obturateur. Cet effet provoquerait le déclenchement de la soupape à une pression supérieure à celle spécifiée, étant donné que cette pression aide le ressort à s'ouvrir.
- d) Les effets de la perte de pression initiale de l'accumulateur pour des raisons autres que l'injection. Celles-ci incluent l'action de la vanne de protection contre la surpression, ou les fuites de pression dans le système d'accumulateur dues à des défaillances d'autres composants.
- e) L'exposition de la soupape à des accélérations sur l'axe Z supérieures à 6 G lorsque l'injection est dans sa phase finale.
- f) Les dérives ou les incertitudes au point d'action défini. Ces incertitudes sont les caractéristiques de la soupape et ne doivent pas nécessairement être liées à l'accident.

Afin de minimiser les effets de ces incidents sur le point d'ouverture de la soupape, diverses mesures de compensation ont été mises en œuvre lors de sa conception. Les incidents qui ne peuvent pas être compensés doivent être considérés comme des incertitudes fondamentales lors du choix du point d'ouverture optimal de la soupape.

Le point d'ouverture de la soupape sera déterminé par l'utilisateur final en tenant compte des conditions particulières de chaque installation.

Les mesures compensatoires mises en place sont les suivantes:

- 1) En ce qui concerne les causes (a) et (b), un choix minutieux du matériau du ressort et des traitements métallurgiques est important, afin de minimiser les effets de la relaxation à cause de la température et des contraintes mécaniques prolongées dans le temps. La relaxation par temps en service peut être éliminée par le traitement thermique du ressort ou inclure son effet après l'évaluation expérimentale de sa valeur. Après les tests de validation, on constate que la

relaxation en fonction de la température est maintenue en dessous de -0,01 Bar / °C, ce qui ne constitue pas un écart appréciable.

- 2) En ce qui concerne la cause (c), cette pression est déjà incluse dans la conception de la soupape afin de tirer parti de son effet bénéfique pour compenser la pressurisation de l'accumulateur par la température. Cela améliore sa réponse pour les plages de température (60°C à 140°C) (140°F à 284°F).

Pour les causes restantes d), e) et f), il n'existe aucune mesure compensatoire pour les raisons suivantes:

- La cause (d). Comme elle est due à des causes totalement indépendantes de la soupape ASVAD, elles ne peuvent pas être prises en compte dans cette étude.
- La cause (e). Étant donné la probabilité extrêmement faible de cette circonstance, elle ne sera pas non plus prise en compte dans cette étude.
- La cause (f) est intrinsèque et ne peut être évaluée statistiquement que par répétition successive du test dans des conditions homogènes. Bien qu'une incertitude maximale de 1% du PN (0,5 bar) ait été déterminée dans les spécifications, les résultats des tests ont permis de réduire cette incertitude à seulement 0,1 bar.

Le choix du point d'ouverture optimal de la soupape doit prendre en compte ces éventuelles affectations. Cette décision doit déterminer s'il est préférable de maximiser l'injection, au risque de permettre l'injection d'une petite quantité de gaz dans le système, ou s'il est préférable de renoncer à un certain volume résiduel dans l'accumulateur pour s'assurer qu'aucun gaz ne pénètre dans le système.

Bien que les résultats définitifs dépendent de chaque application, on estime qu'un écart de 0,5 bar au point d'ouverture équivaut à environ 1,8% du niveau équivalent dans l'accumulateur. Cela implique que malgré les incertitudes prises en compte, la soupape agira lorsque l'accumulateur sera pratiquement vide.

Dans tous les cas, la simple installation de la soupape ASVAD **sera toujours plus avantageuse pour l'atténuation d'un accident postulé**, car même si sa performance n'est pas réalisée au point de pression idéal, elle ira toujours bien au-delà des stratégies existantes.

A titre d'exemple, la figure suivante montre l'évolution de la pression résiduelle dans les accumulateurs et de la pression d'ouverture de la soupape en fonction de la température dans l'enceinte de confinement. La bonne corrélation entre les deux variables peut être vue graphiquement pendant la plage de température prise en compte dans un accident (60°C à 140°C) (140°F à 284°F).

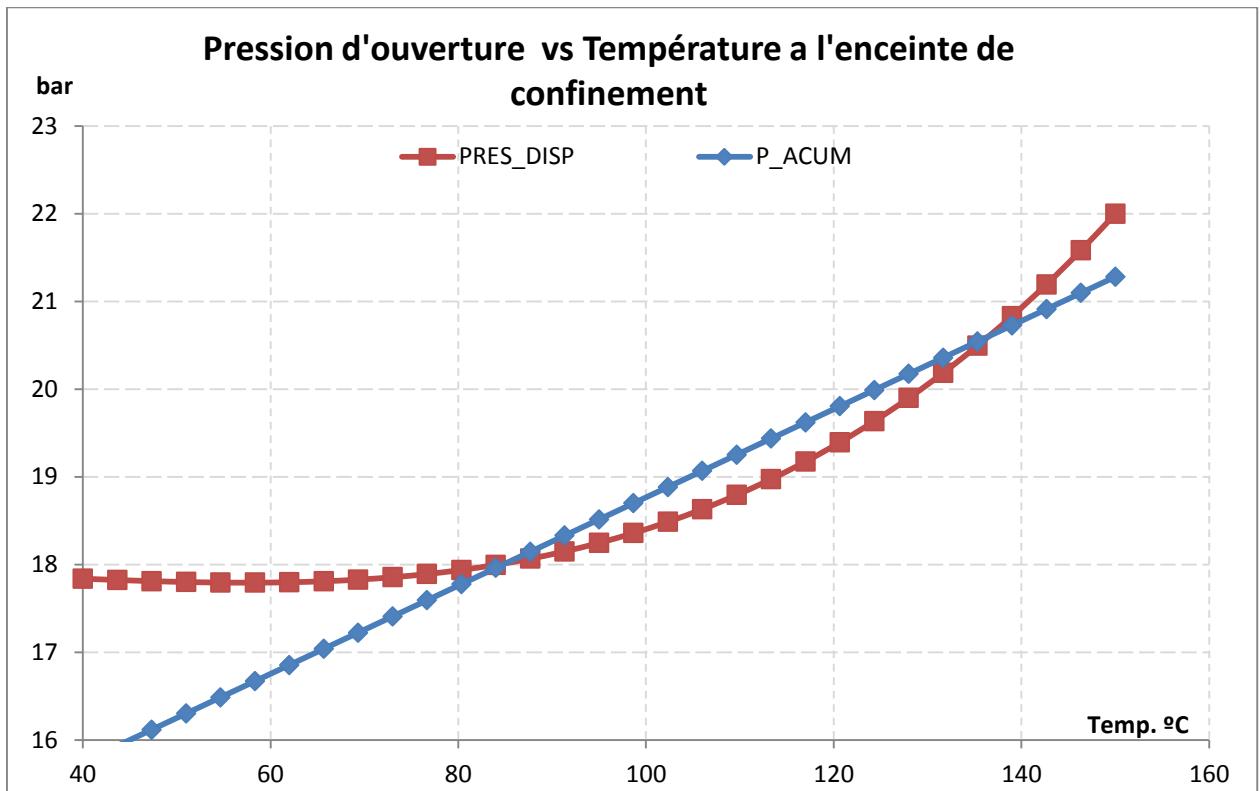


Figure 11. Graphique de ouverture en fonction de la température a l'enceinte de confinement.

6.1.5 Mécanismes de dégradation ou de vieillissement.

L'ASVAD est construite presque entièrement en acier inoxydable A182 F316L. Les seuls composants non métalliques sont les joints en EPDM qui scellent les compartiments.

Pour les raisons indiquées à la section 5.5.4, les mécanismes de dégradation habituels (température, humidité, radiations, corrosion chimique, usure, fatigue due aux vibrations ou au cyclage, etc.) n'ont pas d'effet sur les composants métalliques de la soupape.

Pour les composants non métalliques, seul l'effet du vieillissement en fonction de la température peut être considéré comme pertinent. Cela peut être résolu avec le changement de ces composants à la fin de leur vie qualifiée.

6.2 Analyse des défaillances des composants (AMDE).

Une analyse détaillée de la défaillance de chaque composant est présentée ainsi que ses conséquences dans l'annexe VI. Dans ce tableau, les colonnes suivantes sont indiquées:

1. Numéro de l'item selon le plan de l'annexe I.
2. Nom du composant.
3. Mode de défaillance.
4. Effet sur la soupape/le système.
5. Mode de détection du défaut.
6. Probabilité occurrence.
7. Conséquences.

Le résumé prouve que la probabilité d'occurrence de ces défaillances est extrêmement faible pour tous les composants, étant donné qu'ils sont métalliques et particulièrement robustes, même les joints, qui sont les composants les plus fragiles sur le plan mécanique, sont bien encastrés et donc suffisamment protégés des contraintes dues à la pression. De plus, son fonctionnement est complètement statique, ce qui augmente encore sa fiabilité.

D'autre part, les tolérances suffisantes entre les pièces et sa dureté élevée réduisent les possibilités de blocage tant dans les pistons que dans l'obturateur principal.

Les manières de détecter les défauts dans les composants de la soupape ASVAD sont résumées de trois manières différentes:

1. L'alarme due à la dépressurisation de l'accumulateur.
2. Le test fonctionnel de la soupape.
3. L'Inspection visuelle de la soupape.

Les conséquences de ces défaillances dans les composants de l'ASVAD sont résumées dans les trois conséquences indiquées pour tout l'ensemble plus la non-conséquence:

1. La dépressurisation de l'accumulateur (défaillance ouverte).
2. La non-ventilation de l'azote. (défaillance fermée).
3. L'affectation au point d'ouverture. (par température ou pression)
4. Aucune conséquence.

6.3 Temps moyen entre les défaillances.

Le temps moyen entre les défaillances d'une soupape de ce type est difficile à quantifier car il s'agit d'un nouvel élément pour lequel il n'existe toujours pas de données statistiques de fonctionnement.

Cependant, elle peut être considérée comme similaire à une soupape de sécurité contre les surpressions; car les composants constituant les deux soupapes sont similaires et sont fabriqués avec les mêmes matériaux.

Elles partagent également le fait qu'en fonctionnement normal, elles restent statiques et ne fonctionnent pas, et qu'en fait, leur fonctionnement occasionnel coïncide souvent avec les tests effectués pour leur vérification. Le temps moyen entre les défaillances estimé pour l'ASVAD est >20 ans.

7 CONFORMITÉ AUX NORMES RÉGLEMENTAIRES

7.1 Critères concernant le design 10 CFR 50

Pour la validation et la qualification de la soupape ASVAD, nous nous sommes basés sur les normes américaines du NRC décrites dans le document 10 CFR 50 [3][4], qui fournissent une couverture adéquate pour valider son utilisation dans pratiquement toutes les centrales nucléaires existantes

Beaucoup de ces normes ne s'appliquent pas à l'ASVAD. Seules celles qui peuvent avoir un impact potentiel sur sa conception, son utilisation et son fonctionnement seront décrites.

7.2 Système de qualité (GDC 1).

La section GDC 1 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de qualité nécessaires pour maintenir un contrôle de qualité adéquat:

“Structures, systems, and components important to safety shall be designed, fabricated, erected, and tested to quality standards commensurate with the importance of the safety functions to be performed. Where generally recognized codes and standards are used, they shall be identified and evaluated to determine their applicability, adequacy, and sufficiency and shall be supplemented or modified as necessary to assure a quality product in keeping with the required safety function. A quality assurance program shall be established and implemented to provide adequate assurance that these structures, systems, and components will satisfactorily perform their safety functions. Appropriate records of the design, fabrication, erection, and testing of structures, systems, and components important to safety shall be maintained by or under the control of the nuclear power unit licensee throughout the life of the unit.”

La soupape ASVAD a été conçue, fabriquée et testée dans le cadre du système de qualité de *Ringo Válvulas SL*. Ce système de qualité garantit que la fabrication de la soupape réponds aux normes de qualité de sa classe. Les tests de validation effectués démontrent sa capacité à répondre aux spécifications requises. L'ensemble de ces registres seront conservés pendant la vie utile du produit.

7.3 Bases du design en cas de phénomènes naturels (GDC 2).

La section GDC 2 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les éléments de sécurité doivent respecter en ce qui concerne leur protection face aux phénomènes naturels:

“Structures, systems, and components important to safety shall be designed to withstand the effects of natural phenomena such as earthquakes, tornadoes, hurricanes, floods, tsunami, and seiches without loss of capability to perform their safety functions. The design bases for these structures, systems, and components shall reflect: (1) Appropriate consideration of the most severe of the natural phenomena that have been historically reported for the site and surrounding area, with sufficient margin for the limited accuracy,

quantity, and period of time in which the historical data have been accumulated, (2) appropriate combinations of the effects of normal and accident conditions with the effects of the natural phenomena and (3) the importance of the safety functions to be performed.”

La soupape ASVAD a été qualifiée selon les critères antisismiques utilisés dans les installations à forte sismicité. En particulier, l'accélération verticale considérée est de 6 G et l'accélération horizontale atteint les 8,5 G. Les résultats garantissent que la soupape ne perdra pas sa capacité de fonctionnement même après un tremblement de terre OBE.

7.4 Protection contre les incendies (GDC 3).

La section GDC 3 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les éléments de sécurité doivent respecter en ce qui concerne leur protection contre le feu:

“Structures, systems, and components important to safety shall be designed and located to minimize, consistent with other safety requirements, the probability and effect of fires and explosions. Noncombustible and heat resistant materials shall be used wherever practical throughout the unit, particularly in locations such as the containment and control room. Fire detection and fighting systems of appropriate capacity and capability shall be provided and designed to minimize the adverse effects of fires on structures, systems, and components important to safety. Firefighting systems shall be designed to assure that their rupture or inadvertent operation does not significantly impair the safety capability of these structures, systems, and components.”

En raison de sa conception intrinsèque, l'ASVAD ne peut ni provoquer d'incendies ni les propager. Comme elle est presque complètement métallique, elle est pratiquement insensible au feu.

7.5 Protection face aux conditions environnementales et les projectiles (GDC 4).

La section GDC 4 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que doivent respecter les éléments de sécurité en ce qui concerne leur capacité à maintenir leur fonctionnalité dans les conditions environnementales défavorables qui se produisent lors des accidents postulés. Cette section décrit aussi la résistance à l'effet des projectiles:

“Structures, systems, and components important to safety shall be designed to accommodate the effects of and to be compatible with the environmental conditions associated with normal operation, maintenance, testing, and postulated accidents, including loss-of coolant accidents. These structures, systems, and components shall be appropriately protected against dynamic effects, including the effects of missiles, pipe whipping, and discharging fluids, that may result from equipment failures and from events and conditions outside the nuclear power unit. However, dynamic effects associated with postulated pipe ruptures in nuclear power units may be excluded from the design basis when analyses reviewed and approved by the Commission demonstrate that the probability of fluid system piping rupture is extremely low under conditions consistent with the design basis for the piping.”

La soupape ASVAD a été testée selon les critères de pression et de température estimés lors d'un accident par DBA dans le confinement. Les résultats garantissent que l'ASVAD ne perd pas sa capacité à fonctionner même dans les conditions de DBA postulées. L'effet de l'humidité, ou la présence d'eau dans le cas d'une immersion complète, n'a pas été pris en compte, pas plus que l'effet de la radiation ambiante. En raison de son design et de sa fabrication métallique, la soupape est à l'abri de ces conséquences.

En ce qui concerne les éventuels projectiles produits par des ruptures dans des canalisations à haute énergie, on ne considère pas que la soupape ASVAD soit susceptible d'être affectée par ceux-ci, étant donné sa robustesse intrinsèque, ainsi que son faible volume et ses formes arrondies.

7.6 Barrière de pression RCS (GDC 14, 30 et 31).

Les sections GDC 14 et 30 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrivent les exigences de conception que le système de refroidissement du réacteur doit respecter pour sa capacité à maintenir l'intégrité de sa barrière de pression.

“The reactor coolant pressure boundary shall be designed, fabricated, erected, and tested so as to have an extremely low probability of abnormal leakage, of rapidly propagating failure, and of gross rupture.”

“Components which are part of the reactor coolant pressure boundary shall be designed, fabricated, erected, and tested to the highest quality standards practical. Means shall be provided for detecting and, to the extent practical, identifying the location of the source of reactor coolant leakage.”

“The reactor coolant pressure boundary shall be designed with sufficient margin to assure that when stressed under operating, maintenance, testing, and postulated accident conditions (1) the boundary behaves in a nonbrittle manner and (2) the probability of rapidly propagating fracture is minimized. The design shall reflect consideration of service temperatures and other conditions of the boundary material under operating, maintenance, testing, and postulated accident conditions and the uncertainties in determining (1) material properties, (2) the effects of irradiation on material properties, (3) residual, steady state and transient stresses, and (4) size of flaws.”

Bien que ces critères ne lui soient pas applicables car elle ne fait pas partie de la barrière de pression du RCS, l'ASVAD a été conçue selon des critères de résistance à la pression similaires à ceux du système des accumulateurs. Les tests de fuite et de surpression garantissent son intégrité même dans les conditions de DBA postulées.

7.7 Fonctions de protection (GDC 20).

La section GDC 20 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que doivent respecter les systèmes de protection automatique.

“The protection system shall be designed (1) to initiate automatically the operation of appropriate systems including the reactivity control systems, to assure that specified acceptable fuel design limits are not exceeded as a result of anticipated operational occurrences and (2) to sense accident conditions and to initiate the operation of systems and components important to safety.”

Cette section ne s'applique pas à la soupape ASVAD, mais est incluse ici pour indiquer qu'en raison de sa conception spéciale, elle est capable de démarrer automatiquement sa fonction de sécurité. Les tests de cette fonction automatique ont été largement décrits dans la section 5.6.1.1.

7.8 Fiabilité et testabilité (GDC 21).

La section GDC 21 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les systèmes de protection automatique doivent respecter en ce qui concerne la fiabilité de ces systèmes et leurs capacités de test.

“The protection system shall be designed for high functional reliability and in service testability commensurate with the safety functions to be performed. Redundancy and independence designed into the protection system shall be sufficient to assure that (1) no single failure results in loss of the protection function and (2) removal from service of any component or channel does not result in loss of the required minimum redundancy unless the acceptable reliability of operation of the protection system can be otherwise demonstrated. The protection system shall be designed to permit periodic testing of its functioning when the reactor is in operation, including a capability to test channels independently to determine failures and losses of redundancy that may have occurred.”

Cette section ne s'applique pas non plus explicitement à l'ASVAD. Elle a été conçue selon des critères de simplicité et d'efficacité dans ses composants. Le faible nombre d'élément, sa simplicité et sa robustesse, ainsi que les bases physiques sur lesquelles elle repose, garantissent une grande fiabilité. La faible probabilité de défaillance, ainsi que la faible probabilité d'exploitation pendant la durée de vie de la centrale, justifient qu'il n'y ait pas besoin de redondance des matériels.

En ce qui concerne la testabilité de l'ASVAD, son installation après une vanne d'isolement manuelle permet son entretien et ses tests, même dans des conditions de fonctionnement normales et sans nuire à la fonctionnalité de l'accumulateur. Compte tenu de sa grande fiabilité, son entretien et ses tests peuvent être effectués après de longues périodes de fonctionnement et pendant les conditions d'arrêt de la centrale.

La simplicité de conception de ses composants et leur assemblage permettent un entretien aisément et des simples inspections visuelles de ses composants internes suffisent.

7.9 Indépendance des systèmes de protection (GDC 22).

La section GDC 22 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les systèmes de protection automatique doivent respecter pour leur indépendance par rapport aux autres systèmes.

"The protection system shall be designed to assure that the effects of natural phenomena, and of normal operating, maintenance, testing, and postulated accident conditions on redundant channels do not result in loss of the protection function, or shall be demonstrated to be acceptable on some other defined basis. Design techniques, such as functional diversity or diversity in component design and principles of operation, shall be used to the extent practical to prevent loss of the protection function."

Cette section ne s'applique pas non plus explicitement. Cependant, la soupape ASVAD est complètement indépendante de tout autre système (de protection ou de non-protection). Ses actions ne dépendent pratiquement que de la pression dans l'accumulateur qui est la variable surveillée par la soupape.

7.10 Modes de défaillance des systèmes de protection (GDC 23).

La section GDC 23 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les systèmes de protection automatique doivent respecter en ce qui concerne leur mode de défaillance.

"The protection system shall be designed to fail into a safe state or into a state demonstrated to be acceptable on some other defined basis if conditions such as disconnection of the system, loss of energy (e.g., electric power, instrument air), or postulated adverse environments (e.g., extreme heat or cold, fire, pressure, steam, water, and radiation) are experienced."

Les modes de défaillance de l'ASVAD sont décrits en détail dans la section 6. En aucun cas, la défaillance de celle-ci ne conduit à d'autres modes de défaillance que ceux précédemment envisagés pour d'autres éléments du système des accumulateurs.

Les principes physiques qui régissent son fonctionnement placent la soupape dans une position sûre dans la plupart des cas. Les autres défaillances qui conduisent à une dépressurisation de l'accumulateur, malgré le maintien du système dans des conditions dangereuses, sont rapidement détectables et peuvent être corrigées par les opérateurs.

7.11 Protection contre les événements opérationnels (GDC 29).

La section GDC 29 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les systèmes de protection automatique doivent respecter en ce qui concerne leur fonctionnement, qu'il soit normal ou défaillant.

"The protection and reactivity control systems shall be designed to assure an extremely high probability of accomplishing their safety functions in the event of anticipated operational occurrences."

Cette section ne s'applique pas non plus à l'ASVAD. La soupape n'a pas besoin d'être actionnée pendant le fonctionnement normal du système. Elle reste fermée à tout moment tant que l'accumulateur est utilisable.

Elle ne peut agir que lorsque la pression de l'accumulateur est suffisamment basse (et par conséquent l'accumulateur est déjà inutilisable). Les conséquences d'un fonctionnement défaillant de la soupape (ouverture ou fermeture manuelle) ne diffèrent pas d'une opération défaillante d'autres composants du système d'accumulation.

7.12 Contrôle de l'atmosphère de l'enceinte de confinement (GDC 41).

La section GDC 41 de l'annexe A 10 CFR 50 [3] décrit les exigences de conception que les systèmes de contrôle ou de gestion de l'enceinte de confinement doivent respecter en ce qui concerne leur intégrité

“Systems to control fission products, hydrogen, oxygen, and other substances which may be released into the reactor containment shall be provided as necessary to reduce, consistent with the functioning of other associated systems, the concentration and quality of fission products released to the environment following postulated accidents, and to control the concentration of hydrogen or oxygen and other substances in the containment atmosphere following postulated accidents to assure that containment integrity is maintained.

“Each system shall have suitable redundancy in components and features, and suitable interconnections, leak detection, isolation, and containment capabilities to assure that for onsite electric power system operation (assuming offsite power is not available) and for offsite electric power system operation (assuming onsite power is not available) its safety function can be accomplished, assuming a single failure..”

Cette section ne s'applique pas à la soupape ASVAD. Cependant, son action libère l'azote des accumulateurs dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement. Cela ne pose aucun risque supplémentaire si ce n'est l'augmentation inévitable de sa pression. Cette augmentation de pression doit être évaluée par l'utilisateur final.

Étant donné le volume élevé de l'enceinte de confinement, cette augmentation se situe généralement dans les limites opérationnelles. D'autre part, le rejet d'azote des accumulateurs dans l'atmosphère a également trois effets secondaires qui contribuent à maintenir son intégrité:

- L'inertage de son atmosphère, en augmentant la quantité d'azote qu'elle contient.
- La réfrigération produite par la dilatation du gaz libéré par les accumulateurs.
- Évite qu'un vide excessif ne soit créé à l'intérieur de l'enceinte de confinement.

7.13 Systèmes de ventilation.

La section 46a de l'annexe A 10 CFR 50 [1] décrit les exigences de conception que doivent satisfaire les systèmes de ventilation RCS.

"Each nuclear power reactor must be provided with high point vents for the reactor coolant system, for the reactor vessel head, and for other systems required to maintain adequate core cooling if the accumulation of noncondensable gases would cause the loss of function of these systems. High point vents are not required for the tubes in U-tube steam generators. Acceptable venting systems must meet the following criteria:

- (a) The high point vents must be remotely operated from the control room.*
- (b) The design of the vents and associated controls, instruments and power sources must conform to appendix A and appendix B of this part.*
- (c) The vent system must be designed to ensure that:*
 - (1) The vents will perform their safety functions; and*
 - (2) There would not be inadvertent or irreversible actuation of a vent.*

Cette section ne s'applique pas à la soupape ASVAD, car la ventilation effectuée par celle-ci ne se fait pas sur le RCS mais sur les accumulateurs. Cependant, elle répond également à ces critères en empêchant les gaz de passer dans le RCS.

7.14 Conformité 10 CFR 50.59.

La norme 10 CFR 50.59 [2] décrit les exigences et les précautions nécessaires pour apporter des modifications de conception aux SSC de sécurité.

L'installation de la soupape ASVAD dans le système des accumulateurs implique une modification de l'étude de sécurité finale, ainsi que de plusieurs procédures d'exploitation et procédures d'urgence. Il incombera à l'utilisateur final de les adapter à la nouvelle configuration et de demander les autorisations nécessaires.

Les autres impacts collatéraux de l'installation de l'ASVAD seront les modifications apportées aux simulateurs de l'installation, la formation des opérateurs, etc. Tous ces changements ne relèvent pas de cette étude car ils incombent à l'utilisateur final.

8 CONCLUSIONS

Bien que le but de cette étude ne soit pas de démontrer les complications d'une injection d'azote sur les systèmes de refroidissement du réacteur, on peut conclure avec certitude que de telles complications seront toujours préjudiciables au refroidissement du réacteur. Pour cette raison, l'injection d'azote des accumulateurs **doit TOUJOURS être évitée.**

L'objectif de cette étude n'est pas non plus l'analyse détaillée des stratégies actuelles pour éviter une telle injection. Cependant, une simple analyse de ces stratégies permet de vérifier qu'elles partagent les mêmes caractéristiques:

- Elles nécessitent l'utilisation conjointe et le bon fonctionnement d'une série d'équipements actifs (certains déjà installés et d'autres déployés lors d'un accident).
- La mise en œuvre par le personnel du travail nécessaire à son déploiement et à son contrôle.
- Et pour finir, toutes ces activités dépendent de la rapidité de l'évolution de l'accident et peuvent donc être considérées comme critiques dans le temps.

Cette combinaison de besoins simultanés peut remettre en question l'efficacité des stratégies actuelles. Même si nous pouvons leur faire confiance, elles exigeront toujours un effort important de la part du personnel et sans une sécurité totale de réussite.

La soupape ASVAD évite complètement tous ces problèmes. Il s'agit d'une soupape totalement passive, sans surveillance et automatique, qui évite au personnel de gérer le problème de l'injection d'azote.

L'installation de l'ASVAD dans les centrales peut garantir que ladite injection ne se produira pas. De plus, cette circonstance permettra la dépressurisation ultérieure du système primaire à des valeurs inférieures et plus proches de la pression atmosphérique qui facilitera considérablement la récupération de l'accident.

En résumé :

Voici à continuation, les trois questions principales concernant l'évaluation de la soupape ASVAD:

1. Peut-elle être classée dans la classe nucléaire 2?

OUI. Le prototype de l'ASVAD a réussi les tests de qualification décrits dans la section 5.7. La soupape ASVAD possède la documentation nécessaire à sa qualification en tant que classe nucléaire 2 et peut être utilisée sans restriction dans les centrales nucléaires pour le déchargement automatique des accumulateurs après dépressurisation.

2. Peut-elle réduire l'efficacité du fonctionnement du système où elle est installée?

NON. Pour toutes les raisons expliquées principalement dans la section 6, l'installation de la soupape ASVAD dans les accumulateurs n'ajoute aucun mode de défaillance différent de ceux déjà analysés. En tant qu'élément passif, sa probabilité de défaillance est similaire à d'autres éléments structurels du système, tels que l'accumulateur, ses joints et ses tuyaux.

3. Peut-elle augmenter de manière significative la capacité de gérer et de réduire les accidents?

OUI. Pour toutes les raisons expliquées ci-dessus dans la section 3.5, l'installation de la soupape ASVAD dans le système d'accumulateur augmente considérablement les capacités du personnel à faire face aux accidents et à les atténuer, en évitant toutes les complications découlant de la présence d'une grande quantité d'azote dans les systèmes de réfrigération.

En guise de résumé final voici les conclusions:

1. L'Injection d'azote provenant des accumulateurs doit toujours être évitée.
2. Les stratégies actuelles des centrales peuvent ne pas être suffisantes.
3. La soupape ASVAD évite en toute sécurité l'injection d'azote.
4. La soupape ASVAD est conforme à la classe nucléaire 2 et est qualifié pour son utilisation dans les centrales nucléaires.
5. Son installation dans les centrales REP améliorerera considérablement la capacité à faire face aux accidents postulés.

9 DOCUMENTATION DE RÉFÉRENCE

1. **NRC regulations. 10 CFR 50.46a Acceptance criteria for reactor coolant system venting systems.**
2. **NRC regulations. 10 CFR 50.49 Environmental qualification of electric equipment important to safety for nuclear power plants.**
3. **NRC regulations. 10 CFR 50. Appendix A. General Design Criteria for Nuclear Power Plants.**
4. **NRC regulations. 10 CFR 50. Appendix B. Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants.**
5. **NRC REGULATORY GUIDE 1.100 1.1. Revision 3. September 2009.**
Seismic qualification of electrical and active mechanical equipment and functional qualification of active mechanical equipment for nuclear power plants.
6. **ASME QME-1-2012. Abril 2013.**
Qualification of Active Mechanical Equipment Used in Nuclear Facilities
7. **IEEE 344-2004. junio 2005.**
IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
8. **IEEE 323-1983.**
IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1983.
9. **EPRI NP-2129.**
Radiation Effects on Organic Materials in Nuclear Plants;" Electric Power Research Institute, 1981. Page 3.24
10. **DOI: 10.5516/NET.2011.43.3.279.**
A study on the aging degradation of Ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) Under LOCA condition, Korea Institute of Machinery and Materials. 2011.
11. **ASME cap. III, NC. 2015**
Rules for the material, design, fabrication, examination, testing, overpressure relief, marking, stamping, and preparation of reports by the Certificate Holder of items which are intended to conform to the requirements for Class 2 construction.
12. **ISO 5208:2008.**
Industrial valves. Pressure testing of metallic valves.
13. **NRC GENERIC LETTER GL-2008- 1. ML072910759, January 2008.**
Managing gas accumulation in emergency Core cooling, decay heat removal, and Containment spray systems.
14. **ASME cap. III, Div.1 Subsection NC (Ed. 2007 addenda 2008).**
Rules for construction of nuclear facility components. Division 1 - Subsection NC. Class 2 Components
15. **IEEE 323-1974.**
IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1974.

10 Liste des sigles/acronymes

- AMDE Analyse des modes de défaillance et de leurs effets.
- ASME American Society Of Mechanical Engineers.
- ASVAD Automatic Safety Valve For Accumulator Depressurization.
- CDF Core Damage Frequency.
- DBA Design Basis Accident.
- ELAP Extended Loss Of AC Power.
- EPDM Ethylene Propylene Diene Type M.
- EPRI Electric Power Research Institute.
- FLEX Diverse And Flexible Coping Strategies.
- FMEA Failure Mode And Effects Analysis.
- GMDE Extended Damage Management Guides.
- HELB High Energy Line Break.
- IEEE Institute Of Electrical And Electronics Engineers.
- ISO International Organization For Standardization.
- LOCA Loss Of Coolant Accident.
- LTSBO Long Term Station Black-Out.
- NRC Nuclear Regulatory Commission (US).
- NPP Nuclear Power Plans.
- OBE Operating Base Earthquake.
- PN Nominal Pressure.
- PSA Probabilistic Safety Assessment.
- PWR Pressurized Water Reactor.
- REP Réacteur à eau pressurisée.
- RCP Reactor Coolant Pump.
- RCS Reactor Cooling System.
- RPDT Temperature Percentage Drift Ratio.
- SG Steam Generator.
- SSC Systems, Structures And Components.
- SSE Safe Shutdown Earthquake.

ANNEXE I

**DESSINS DIMENSIONNELS DE LA
SOUPAPE ASVAD**

RV-E1306-3

ANNEXE II

**PLANS DIMENSIONNELS DU BANC
DE TEST DE LA SOUPAPE ASVAD**

UT-A2-000230-0

ANNEXE III

PROCÉDURES DES TESTS DE VALIDATION DE LA SOUPAPE ASVAD

- IN8-3-695 r1**
- IN8-3-696 r0**
- IN8-3-697 r2**
- IN8-3-698 r0**
- IN8-3-699 r1**
- IN8-3-700 r0**

ANNEXE IV

**CALCUL SISMIQUE
DE LA SOUPAPE ASVAD**

DC-6056-1 r0

ANNEXE V

RÉSULTATS DES TESTS DE VALIDATION DE LA SOUPAPE ASVAD

ANNEXE VI

TABLEAU AMDE

TABLE ASVAD AMDE DE LA SOUPAPE

Article	COMPOSANT	Défaillance	EFFET	DÉTECTION	PROBABILITÉ	CONSÉQUENCES
5	Structures supérieures	Rupture de la chambre	Fuites	Alarme à l'opérateur	Extrêmement faible	Depressurisation
25	Couvercle inférieur	Rupture de la chambre	Fuites	Alarme à l'opérateur	Extrêmement faible	Depressurisation
70	Siège	Rupture / déformation	Fuites	Alarme à l'opérateur	Extrêmement faible	Depressurisation
1047	obturateur principal	Rupture / déformation	Fuites	Alarme à l'opérateur	Extrêmement faible	Depressurisation
173	bride d'entrée	Rupture / déformation	Fuites	Alarme à l'opérateur	Extrêmement faible	Depressurisation
330	Joint du couvercle inférieur	Rupture / déformation	Fuites	Alarme à l'opérateur	Très faible	Depressurisation
375/380	Goujons / écrous	Rupture / Desserrage	Fuites	Alarme à l'opérateur	Très faible	Depressurisation
5	Structures supérieures	Rupture supérieure	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Pas épuisé
177	Support du ressort	Rupture	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Pas épuisé
931	Cylindre d'équilibrage	Rupture / déformation	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Pas épuisé
1047	Obturateur principal	Rupture / déformation	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Très faible	Pas épuisé
1047	Obturateur principal	Blocage	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Très faible	Pas épuisé
1884	Disque d'ajustement	Rupture / déformation	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Très faible	Pas épuisé
1887	Ressort de régulation	Rupture / déformation	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Pas épuisé
186/208	Douilles	Blocage	Défaillance à l'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Pas épuisé
1882	Piston de fermeture	Blocage en pos. sup.	Défaillance du piston de fermeture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Pas épuisé
1882	Piston d'ouverture	Semi-bloc sup.	Défaillance du piston de fermeture	Visuel / Test	Très faible	Déviations d'ouverture
1883	cylindre de fermeture	Rupture / Blocage	Défaillance du piston de fermeture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Déviations d'ouverture
1886	Ressort de fermeture	Rupture / déformation	Défaillance du piston de fermeture	Visuel / Test	Très faible	Déviations d'ouverture

TABLE ASVAD AMDE DE LA SOUPAPE

Article	COMPOSANT	Défaillance	EFFET	DÉTECTION	PROBABILITÉ	CONSÉQUENCES
1889/1890	Joint du piston de fermeture	Rupture / déformation	Défaillance du piston de fermeture	Visuel / Test	Très faible	Déviations d'ouverture
1898	Tube d'entrée	Rupture / déformation	Défaillance du piston de fermeture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Aucune
294	Joint intérieur	Rupture / déformation	Fuites du piston de fermeture	Visuel	Extrêmement faible	Aucune
1881	Piston d'ouverture	Rupture / Blocage	Défaillance du piston d'ouverture	Visuel / Test	Très faible	Aucune
1888	Joint du piston d'ouverture	Rupture / déformation	Défaillance du piston d'ouverture	Visuel / Test	Très faible	Aucune
20	Couverture supérieure	Rupture	Défaillance du piston d'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Aucune
177	Support du ressort	Blocage	Défaillance du piston d'ouverture	Visuel / Test	Extrêmement faible	Aucune
660/1725	Bouchon	Rupture / déformation	Aucun	Visuel / Test	Extrêmement faible	Aucune
331	Joint de couvercle supérieur	Rupture / déformation	Aucun	Visuel / Test	Très faible	Aucune
1895	Guide anti-rotation	Rupture / déformation	Aucun	Visuel	Extrêmement faible	Aucune
1891/ 1896/1897	Déflecteur	Rupture / déformation	Aucun	Visuel	Extrêmement faible	Aucune
1893/1894	Plaque de pied	Rupture / déformation	Aucun	Visuel	Extrêmement faible	Aucune

ANNEXE VII

MANUEL D'INSTALLATION ET D'UTILISATION DE LA SOUPAPE ASVAD

IOM-ASVAD r0