
4 ALBERT EMBANKMENT
LONDRES SE1 7SR
Téléphone : +44 (0)20 7735 7611 Télécopieur : +44 (0)20 7587 3210

MSC.1/Circ.1647
15 juin 2022

**DIRECTIVES INTÉRIMAIRES RELATIVES À LA SÉCURITÉ DES NAVIRES
QUI UTILISENT DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES
À PILE À COMBUSTIBLE**

1 Le Comité de la sécurité maritime, après avoir examiné à sa cent cinquième session (20-29 avril 2022) la proposition faite par le Sous-comité du transport des cargaisons et des conteneurs à sa septième session, a reconnu qu'il était important d'établir des critères applicables à l'agencement et à l'installation d'installations électriques à pile à combustible à bord des navires afin qu'elles garantissent au moins le même degré de sécurité et de fiabilité que les installations de machines principales et auxiliaires neuves comparables fonctionnant avec un combustible liquide classique et a approuvé les Directives intérimaires relatives à la sécurité des navires qui utilisent des installations électriques à pile à combustible, dont le texte figure en annexe à la présente circulaire.

2 Les États Membres sont invités à porter les Directives intérimaires ci-jointes à l'attention des constructeurs de navires, des fabricants, des propriétaires de navires, des armateurs-gérants, des capitaines et des équipages de navires, des affréteurs coque nue et de toutes les autres parties intéressées.

3 Les États Membres sont invités à faire part à l'Organisation de l'expérience qu'ils auront acquise en appliquant les présentes Directives intérimaires afin que le Comité les maintienne à l'étude.

ANNEXE**DIRECTIVES INTÉRIMAIRES RELATIVES À LA SÉCURITÉ DES NAVIRES
QUI UTILISENT DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES
À PILE À COMBUSTIBLE****INTRODUCTION**

Les présentes Directives intérimaires ont pour objet d'établir des dispositions normatives internationales applicables aux navires qui utilisent des installations électriques à pile à combustible. Elles visent à définir les critères à utiliser pour agencer et installer des installations électriques à pile à combustible qui offrent au moins le même degré de sécurité et de fiabilité que celui des installations de machines principales et auxiliaires neuves comparables qui fonctionnent avec un combustible liquide classique, quels que soient le type de pile et le combustible utilisés. Selon le combustible utilisé, d'autres règles (par exemple la partie A du Recueil IGF) et dispositions (par exemple les Directives intérimaires relatives à la sécurité des navires qui utilisent de l'alcool méthylique/éthylique comme combustible) peuvent s'appliquer en sus des dispositions des présentes Directives intérimaires. Certaines installations électriques à pile à combustible utilisent un procédé de reformage du combustible qui permet d'obtenir un combustible reformé destiné à être utilisé dans la pile. Les présentes Directives intérimaires ne sont pas censées viser le stockage des combustibles reformés.

1 GÉNÉRALITÉS**1.1 Application**

Sauf disposition expresse contraire, les présentes Directives intérimaires s'appliquent aux navires auxquels s'applique la partie G du chapitre II-1 de la Convention SOLAS.

1.2 Objectif

Les présentes Directives intérimaires ont pour objectif de garantir la sécurité et la fiabilité de la production d'énergie électrique et/ou d'énergie thermique au moyen de la technologie des piles à combustible.

1.3 Prescriptions fonctionnelles

Les présentes Directives intérimaires concernent les objectifs et les prescriptions fonctionnelles du Recueil IGF. En particulier, les prescriptions ci-après s'appliquent :

- .1 Les systèmes devraient offrir un degré de sécurité, de fiabilité et de sûreté équivalant à celui qu'assurent des installations de machines principales et auxiliaires neuves et comparables qui fonctionnent avec un combustible liquide classique, quels que soient le type de pile et le combustible utilisés.
- .2 La probabilité et les conséquences d'accidents liés au combustible devraient être réduites au minimum par le biais de l'agencement et la conception du système, par exemple la ventilation, la détection et des mesures de protection. En cas de fuite de gaz ou de défaillance des mesures destinées à réduire les risques, il faudrait prendre les mesures de sécurité nécessaires.
- .3 Les principes de la conception devraient garantir que les mesures d'atténuation des risques et les mesures de protection applicables à l'installation électrique à pile à combustible ne provoquent pas une perte de puissance inacceptable.

- .4 Il faudrait limiter autant que possible dans la pratique les zones dangereuses, de façon à réduire les risques qui pourraient compromettre la sécurité du navire, du personnel et de l'équipement.
- .5 Seul le matériel nécessaire pour l'exploitation devrait être installé dans des zones dangereuses et ce matériel devrait être dûment agréé.
- .6 Les espaces à pile à combustible devraient être configurés de manière à empêcher l'accumulation accidentelle de concentrations de gaz explosifs, inflammables ou toxiques.
- .7 Les composantes du système devraient être protégées contre tout dommage externe.
- .8 Il faudrait réduire au minimum les sources d'inflammation dans les zones dangereuses afin d'éviter toute explosion.
- .9 Les circuits de tuyautages et les dispositifs de décompression devraient être conçus, construits et installés de la manière prévue pour l'usage auquel ils sont destinés.
- .10 Les machines, les dispositifs et les éléments devraient être conçus, construits, installés, exploités, entretenus et protégés de façon à garantir la sécurité et la fiabilité de leur fonctionnement.
- .11 Les espaces à pile à combustible devraient être agencés et disposés de façon qu'un incendie ou une explosion survenant dans l'un d'eux n'entraîne pas une perte de puissance inacceptable ni ne mette hors service le matériel situé dans d'autres compartiments.
- .12 Il faudrait prévoir des systèmes de contrôle, d'alarme, de surveillance et d'arrêt qui permettent de garantir un fonctionnement sûr et fiable.
- .13 Il faudrait mettre en place un dispositif fixe de détection des fuites dans tous les locaux et zones concernés.
- .14 Il faudrait prévoir les mesures de détection, de prévention et d'extinction de l'incendie qui soient en rapport avec les risques.
- .15 La mise en service, la mise à l'essai et l'entretien des dispositifs à gaz et des machines à gaz devraient répondre à l'objectif fixé en matière de sécurité, de disponibilité et de fiabilité.
- .16 La documentation technique devrait permettre de déterminer si le système et ses composantes sont conformes aux règles, directives, normes de conception et principes applicables en matière de sécurité, de disponibilité, d'entretien et de fiabilité.
- .17 Une défaillance unique d'un système technique ou d'une composante ne devrait pas causer une situation dangereuse ou à risque.
- .18 Il faudrait garantir la sécurité de l'accès aux fins de l'exploitation, de l'inspection et de l'entretien.

1.4 Définitions

Aux fins des présentes Directives intérimaires, les termes et expressions utilisés ont la signification donnée ci-après. Les termes et expressions qui ne sont pas définis ont le sens qui leur est donné dans le chapitre II-2 de la Convention SOLAS et dans le Recueil IGF.

- .1 Le **gaz d'échappement** est l'échappement du reformeur ou à la borne anode de la pile à combustible.
- .2 L'**air vicié** est l'échappement à la borne cathode de la pile à combustible.
- .3 Une **pile à combustible** est une source d'énergie électrique dans laquelle l'énergie chimique du combustible est transformée directement en énergie électrique et thermique par oxydation électrochimique.
- .4 Un **système d'alimentation à pile à combustible** désigne le groupe de composants qui peuvent contenir du combustible ou des vapeurs dangereuses, une ou des piles à combustible, des reformeurs de combustible, s'il y en a, et les tuyautages connexes.
- .5 Une **installation électrique à pile à combustible** désigne le système d'alimentation à pile à combustible ainsi que les autres composantes et systèmes nécessaires pour fournir de l'électricité au navire. Elle peut également comprendre des systèmes auxiliaires pour le fonctionnement de la pile à combustible.
- .6 Un **espace à pile à combustible** désigne un espace ou une enceinte qui contient un système ou des parties d'un système d'alimentation à pile à combustible.
- .7 Un **assemblage de piles à combustible** est un assemblage de piles, séparateurs, plaques de refroidissement et collecteurs, y compris leur support, qui produit une réaction électrochimique transformant, en général, du gaz riche en hydrogène et des éléments réagissant à l'air en courant continu, en chaleur et d'autres produits résultant de la réaction.
- .8 Un **reformeur de combustible** désigne tous les appareils de reformage du combustible qui servent à transformer un combustible principal gazeux ou liquide en combustible reformé destiné à être utilisé dans les piles à combustible.
- .9 **LIE** désigne la limite inférieure d'explosivité, qui, dans le contexte des présentes Directives intérimaires, devrait être considérée comme étant identique à la limite inférieure d'inflammabilité (LII) et qui équivaut à 4,0 % en volume pour l'hydrogène¹.
- .10 Le **combustible reformé** est de l'hydrogène ou un gaz riche en hydrogène produit dans le reformeur de combustible.

¹ Pour les limites d'inflammabilité applicables à l'hydrogène, voir la norme ISO/TR 15916:2015, intitulée "Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes à l'hydrogène".

- .11 Le **combustible principal** est le combustible introduit dans le système d'alimentation à pile à combustible.
- .12 L'**air de traitement** est l'air injecté dans le reformeur et/ou à la borne cathode de la pile à combustible.
- .13 L'**air de ventilation** est l'air utilisé pour ventiler l'espace à pile à combustible.

1.5 Autres conceptions

1.5.1 Les présentes Directives intérimaires énoncent les prescriptions fonctionnelles applicables à tous les dispositifs et installations pour lesquels est utilisée la technologie des piles à combustible.

1.5.2 Les dispositifs et installations des systèmes d'alimentation à pile à combustible peuvent s'écarter de ceux qui sont prescrits dans les présentes Directives intérimaires à condition qu'ils soient conformes à l'esprit de l'objectif et des prescriptions fonctionnelles en question et assurent un degré de sécurité équivalent à celui qui est prévu dans les sections pertinentes.

1.5.3 L'équivalence de l'autre conception devrait être démontrée de la manière indiquée à la règle II-1/55 de la Convention SOLAS et être approuvée par l'Administration. Toutefois, l'Administration ne devrait pas accepter que soient appliquées des méthodes ou procédures d'exploitation en remplacement d'un accessoire, d'un matériau, d'un appareil, d'une pièce ou d'un type de pièce qui est prescrit dans les présentes Directives intérimaires.

2 PRINCIPES RÉGISSANT LA CONCEPTION DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES À PILE À COMBUSTIBLE

2.1 Espaces à pile à combustible

2.1.1 Configuration de l'espace à pile à combustible :

- .1 Pour réduire au minimum la probabilité d'une explosion de gaz dans un espace à pile à combustible, ce dernier devrait satisfaire aux prescriptions de la présente section ou à une configuration de sécurité équivalente.
- .2 L'espace à pile à combustible devrait être d'une conception propre à atténuer les risques pour les réduire à un niveau considéré comme ne présentant aucun danger dans des conditions normales, mais comme pouvant présenter un danger dans certaines conditions anormales.
- .3 Espaces à pile à combustible protégés par des dispositifs - classification des zones conformément aux dispositions du paragraphe 4.2.2 : ces espaces à pile à combustible sont considérés comme des zones potentiellement dangereuses de la classe 1 et tout le matériel électrique devrait être certifié comme pouvant être utilisé dans une zone de la classe 1. La pile à combustible proprement dite n'est pas considérée comme étant une source d'inflammation si la température de surface de l'assemblage est maintenue

au-dessous de 300 °C² dans toutes les conditions d'exploitation et le système d'alimentation à pile à combustible devrait être en mesure d'isoler et de désamorcer immédiatement l'assemblage de piles à combustible dans toute condition de chargement et d'exploitation (voir aussi le tableau 2).

- .4 Dans les cas particuliers où l'Administration jugerait que la classification normative des zones n'est pas pertinente, il faudrait appliquer la classification des zones énoncée dans la norme CEI 60079-10-1:2020 conformément aux dispositions du paragraphe 4.2.1, en tenant compte de ce qui suit : tout le matériel électrique doit être conforme à la classification des zones en résultant.
- .5 Dans les cas particuliers où l'Administration jugerait acceptable la mise en atmosphère inerte conformément au paragraphe 2.3.3, il faudrait tenir compte de ce qui suit : la mise en atmosphère inerte atténuant les risques d'inflammation, un arrêt immédiat (d'urgence) de l'alimentation en combustible n'est pas nécessaire si une fuite est détectée. La détection d'une fuite devrait provoquer le passage automatique aux autres systèmes d'alimentation électrique et amorcer un arrêt contrôlé de la pile à combustible et du système d'alimentation en combustible concerné, sans endommager le système d'alimentation à pile à combustible.

2.1.2 Les systèmes d'alimentation à pile à combustible devraient être d'une conception conforme à des normes du secteur qui soient au moins équivalentes à celles qui sont jugées acceptables par l'Organisation.³

2.2 Agencement et accès

2.2.1 Les installations électriques à pile à combustible devraient être conçues pour fonctionner automatiquement et être équipées de tous les dispositifs de surveillance et de contrôle nécessaires pour que le système fonctionne en toute sécurité.

2.2.2 Il devrait être possible d'arrêter le système d'alimentation à pile à combustible depuis un emplacement facilement accessible situé à l'extérieur des espaces à pile à combustible.

2.2.3 Un moyen devrait être prévu pour éliminer le combustible principal et le combustible reformé du système d'alimentation à pile à combustible.

2.2.4 Des moyens devraient être prévus pour que l'installation électrique à pile à combustible puisse être entretenue et arrêtée sans danger.

2.2.5 Dans le cas des systèmes auxiliaires du système d'alimentation à pile à combustible dans lesquels des fuites de combustible principal ou reformé peuvent se produire directement dans l'agent du système (par exemple eau de refroidissement), ces systèmes auxiliaires devraient être équipés de moyens d'extraction et de détection installés aussi près que possible en aval de la sortie de l'agent pour éviter la dispersion des gaz. Les gaz extraits des systèmes auxiliaires devraient être évacués vers un endroit sûr sur le pont découvert.

² Le seuil de 300 °C est celui qui est fixé par la norme 60079-20-1:2010 de la CEI, dans laquelle la température de surface maximale est fixée à 450 °C pour l'hydrogène et le GNL et à 300 °C pour l'alcool méthylique/éthylrique et le GPL. Pour garantir la sécurité du fonctionnement des systèmes d'alimentation à pile à combustible, quel que soit le type de pile à combustible et de combustible, les présentes Directives intérimaires utilisent le seuil minimal applicable aux combustibles pertinents spécifié dans la norme 60079-20-1:2010 de la CEI, à savoir 300 °C.

³ Voir la série 62282 de la CEI : 62282-2-100:2020 et 62282-3-100:2019.

2.2.6 Le matériel de reformage, s'il est installé, peut faire partie intégrante de la pile à combustible ou être agencé de manière à former une unité indépendante, avec des tuyautages de combustible reformé reliés à la ou aux piles à combustible.

2.2.7 Les cloisonnements des espaces à pile à combustible devraient être étanches au gaz près des autres espaces fermés à bord du navire.

2.2.8 Les espaces à pile à combustible devraient être situés à l'extérieur des locaux d'habitation, des locaux de service, des locaux de machines de la catégorie A et des postes de sécurité.

2.2.9 Les espaces à pile à combustible devraient être conçus de manière à retenir en toute sécurité les fuites de combustible et être pourvus de systèmes de détection des fuites appropriés. Ils devraient être disposés de façon à empêcher l'accumulation de gaz riche en hydrogène⁴ et à cette fin, ils devraient avoir une forme géométrique simple, sans aucune structure risquant de créer une obstruction dans leur partie supérieure.

2.2.10 Les espaces à pile à combustible contenant des reformeurs de combustible devraient également satisfaire aux prescriptions applicables au combustible principal.

2.2.11 S'il n'est pas possible d'installer un accès indépendant et direct aux espaces à pile à combustible depuis le pont découvert, l'accès à ces espaces devrait se faire au moyen d'un sas à air.

2.2.12 Un sas à air n'est pas nécessaire si les dispositions techniques voulues sont prises pour que nul n'ait à accéder ou ne puisse accéder à l'installation avant que le matériel se trouvant à l'intérieur n'ait été arrêté en toute sécurité, isolé du circuit à combustible et vidangé et qu'il n'ait été confirmé que l'atmosphère intérieure est exempte de gaz.

2.2.13 Ces dispositions pourraient être notamment les suivantes :

- .1 toutes les commandes nécessaires à l'exploitation et au dégazage en toute sécurité du matériel et de l'espace devraient être situées à l'extérieur de l'espace de manière à être utilisées à distance;
- .2 tous les paramètres requis pour l'exploitation et le dégazage en toute sécurité devraient être surveillés à distance et des alarmes doivent être prévues;
- .3 les ouvertures devraient être équipées d'un dispositif de verrouillage empêchant tout fonctionnement lorsque l'espace est ouvert;
- .4 les espaces devraient être équipés de dispositifs permettant de recueillir et d'évacuer les fuites de combustible qui puissent être actionnés à distance depuis l'extérieur de ces espaces; et
- .5 des dispositions devraient être prises pour que le matériel situé à l'intérieur puisse être isolé du circuit à combustible, vidangé et purgé en toute sécurité aux fins de son entretien.

⁴ Voir également la norme 60079-10-1:2010 de la CEI.

2.3 Contrôle de l'atmosphère des espaces à pile à combustible

2.3.1 Généralités

La protection des espaces à pile à combustible assurée par un cloisonnement externe entourant les composantes alimentées en combustible peut être obtenue au moyen de la ventilation ou de la mise en atmosphère inerte, ces méthodes étant également acceptables pour garantir la sécurité de l'espace.

2.3.2 Ventilation des espaces à pile à combustible

2.3.2.1 Un espace à pile à combustible devrait être équipé d'un système de ventilation mécanique efficace qui permette de maintenir tout l'espace sous pression, compte tenu de la densité des combustibles gazeux susceptibles de fuir.

2.3.2.2 Dans le cas des espaces à pile à combustible situés sur des ponts découverts, une ventilation par surpression peut être envisagée.

2.3.2.3 Le débit de ventilation des espaces à pile à combustible devrait être suffisant pour diluer la concentration moyenne de gaz/vapeurs afin qu'elle reste en dessous de 25 % de la LIE dans tous les scénarios de fuite maximale pouvant se produire à la suite de défaillances techniques.

2.3.2.4 Les conduits utilisés pour la ventilation des espaces à pile à combustible ne devraient desservir aucun autre espace.

2.3.2.5 Les conduits de ventilation des espaces contenant des tuyautages de combustible reformé ou des sources de dégagement de combustible reformé devraient être conçus et installés de manière à éviter toute accumulation de gaz.

2.3.2.6 Deux ventilateurs ou davantage devraient être installés afin que l'espace à pile à combustible soit ventilé à 100 % en cas de panne de l'un des ventilateurs. Ce débit de ventilation de 100 % devrait aussi être assuré à l'aide de la source d'énergie de secours.

2.3.2.7 En cas de défaillance de l'un des ventilateurs, le passage à un autre ventilateur devrait se faire automatiquement et être signalé par une alarme.

2.3.2.8 En cas de perte de ventilation ou de perte de dépression dans l'espace à pile à combustible, le système d'alimentation à pile à combustible devrait activer un arrêt automatique contrôlé de la pile à combustible et isoler l'alimentation en combustible.

2.3.2.9 Les arrivées d'air de ventilation des espaces à pile à combustible devraient provenir de zones qui ne seraient pas dangereuses si les prises d'air en question n'existaient pas.

2.3.2.10 Les arrivées d'air des locaux fermés qui ne sont pas dangereux devraient provenir de zones non dangereuses situées à au moins 1,5 mètre des limites de toute zone dangereuse.

2.3.2.11 Les sorties d'air des espaces à pile à combustible devraient être situées dans une zone ouverte qui, en l'absence de telles sorties, présente le même risque ou à un risque moindre que l'espace ventilé.

2.3.3 Mise en atmosphère inerte des espaces à pile à combustible

2.3.3.1 La mise en atmosphère inerte devrait être acceptée aux fins du contrôle de l'atmosphère des espaces à pile à combustible dans les conditions suivantes :

- .1 la protection par mise en atmosphère inerte est acceptable uniquement s'il est impossible d'entrer dans l'espace à pile à combustible pendant la mise en atmosphère inerte ou après l'inertage et des dispositifs d'étanchéité devraient permettre d'éviter toute fuite de gaz inerte dans les espaces adjacents;
- .2 le système de mise en atmosphère inerte est conforme aux dispositions du chapitre 15 du Recueil FSS et des paragraphes 6.13 et 6.14 du Recueil IGF;
- .3 la pression de l'agent d'inertage devrait toujours être positive et être contrôlée;
- .4 tout changement de pression, indiquant soit une rupture du cloisonnement externe de l'espace à pile à combustible, soit une rupture du cloisonnement avec l'espace où le combustible est utilisé (par exemple assemblage de piles à combustible, reformeur, etc.), devrait activer l'arrêt contrôlé de l'alimentation en combustible;
- .5 l'espace à pile à combustible devrait être équipé d'un système de ventilation mécanique permettant d'évacuer l'agent d'inertage après le déclenchement de la mise en atmosphère inerte;
- .6 l'espace à pile à combustible inerté devrait être accessible uniquement lorsque l'espace est entièrement ventilé par de l'air frais et que l'alimentation en combustible est interrompue et dépressurisée ou purgée; et
- .7 le système de mise en atmosphère inerte ne devrait pas pouvoir fonctionner lorsqu'une opération d'entretien ou une inspection est en cours.

2.4 Matériaux

2.4.1 Les matériaux présents à l'intérieur de l'installation électrique à pile à combustible devraient convenir à l'usage prévu et être conformes à des normes reconnues.

2.4.2 L'utilisation de matériaux combustibles à l'intérieur de l'installation électrique à pile à combustible devrait être réduite au minimum.

2.5 Circuits de tuyautages du système d'alimentation à pile à combustible

Tous les tuyaux contenant du combustible reformé ou de l'hydrogène alimentant le système d'alimentation à pile à combustible qui sont installés :

- .1 ne devraient pas traverser les espaces fermés qui se trouvent à l'extérieur des espaces à pile à combustible;
- .2 devraient être entièrement soudés, dans la mesure du possible;
- .3 devraient être disposés de manière à réduire au minimum le nombre de raccords; et

- .4 devraient comporter, aux endroits où des fuites d'hydrogène peuvent se produire, tels que les brides, les scellés et les vannes, des détecteurs d'hydrogène fixes capables de détecter une fuite d'hydrogène.

2.6 Évacuation d'air vicié et gaz d'échappement

Les gaz d'échappement et l'air vicié provenant des systèmes d'alimentation à pile à combustible ne devraient pas être combinés avec l'air de ventilation à l'exception de celui qui dessert les espaces à pile à combustible et devraient déboucher dans un endroit sûr à l'air libre.

3 SÉCURITÉ-INCENDIE

3.1 Dispositions générales relatives au risque d'incendie ou d'explosion

Les espaces à pile à combustible devraient avoir une forme géométrique qui empêche l'accumulation de gaz ou la formation de poches de gaz.

- .1 L'espace à pile à combustible devrait être considéré comme un local de machines de la catégorie A au sens de la définition donnée au chapitre II-2 de la Convention SOLAS aux fins de la protection contre l'incendie.
- .2 Un espace à pile à combustible devrait être entouré de cloisonnements du type A-60. Lorsque cela est jugé impossible dans la pratique, une Administration peut approuver d'autres conceptions de limites qui offrent un degré de sécurité équivalent.
- .3 Le dispositif d'extinction de l'incendie devrait convenir pour le combustible et la technologie de pile à combustible particuliers utilisés. Les Administrations peuvent accepter toute autre mesure de protection contre l'incendie s'il a été démontré que cette mesure est équivalente au moyen d'une analyse des risques tenant compte des caractéristiques des combustibles à utiliser.
- .4 Il doit être installé un dispositif fixe de détection de l'incendie et d'alarme d'incendie qui soit conforme aux prescriptions du Recueil de règles sur les systèmes de protection contre l'incendie (Recueil FSS).
- .5 Il faudrait choisir le type de dispositif de détection de l'incendie et son emplacement en tenant dûment compte des combustibles et des gaz combustibles qui peuvent être présents dans les installations électriques à pile à combustible.
- .6 Les espaces à pile à combustible devraient être équipés de détecteurs d'incendie appropriés⁵. Les détecteurs de fumée ne sont pas considérés comme étant à eux seuls un moyen suffisant de détecter rapidement un incendie lorsque des combustibles gazeux sont utilisés.

⁵ On peut prendre en considération la norme ISO/TR 15916:2015 pour sélectionner des détecteurs d'incendie appropriés.

3.2 Protection contre les incendies et les explosions

3.2.1 Les espaces à pile à combustible séparés par une seule cloison devraient avoir une résistance suffisante pour supporter une explosion de gaz localisée dans l'un ou l'autre des espaces sans que soit compromise l'intégrité de l'espace adjacent et du matériel qu'il contient.

3.2.2 Des dispositifs de détente de la pression d'explosion et des dispositifs d'arrêt d'urgence appropriés devraient être prévus pour atténuer les défaillances entraînant une surpression dangereuse, par exemple la rupture des tuyautages de gaz ou l'éclatement des soupapes.

3.2.3 La probabilité d'une accumulation et d'une explosion de gaz dans les espaces à pile à combustible devrait être réduite au minimum à l'aide d'une stratégie d'atténuation, qui peut inclure l'une ou plusieurs des mesures ci-après :

- .1 purger le système d'alimentation à pile à combustible avant de lancer la réaction;
- .2 purger le dispositif si nécessaire après son arrêt;
- .3 assurer la détection des défaillances dans les systèmes de stockage du combustible des piles à combustible;
- .4 surveiller la contamination potentielle de l'air dans les tuyautages de combustible des piles à combustible ou du combustible des piles à combustible dans les conduits d'aération;
- .5 contrôler la pression et la température;
- .6 mettre en œuvre une séquence préprogrammée afin de contenir ou de contrôler la propagation de la réaction dans d'autres sections du système de pile à combustible ou dans l'espace qui l'entoure; et
- .7 toute autre stratégie proposée par le fabricant, jugée satisfaisante par l'Administration.

3.3 Extinction de l'incendie

3.3.1 Un dispositif fixe d'extinction de l'incendie devrait être obligatoire dans les espaces à pile à combustible.

3.3.2 Le dispositif d'extinction de l'incendie devrait convenir pour le combustible principal et reformé utilisé et la technologie de pile à combustible proposée.

3.3.3 Il faudrait choisir des dispositifs fixes d'extinction de l'incendie qui tiennent dûment compte du potentiel de développement de l'incendie des locaux protégés et ces dispositifs doivent être facilement accessibles.

3.4 Volets d'incendie

3.4.1 Les ouvertures d'arrivée et de sortie d'air devraient être dotées de volets d'incendie de sécurité à fermeture automatique qui puissent être commandés de l'extérieur de l'espace à pile à combustible.

3.4.2 Avant l'actionnement du dispositif d'extinction de l'incendie, les volets d'incendie devraient être fermés.

4 SYSTÈMES ÉLECTRIQUES

4.1 Dispositions générales relatives aux systèmes électriques

4.1.1 Aucun matériel électrique ne devrait être installé dans les zones potentiellement dangereuses, à moins qu'il ne soit absolument nécessaire aux fins de l'exploitation ou pour renforcer la sécurité.

4.1.2 Le matériel électrique, y compris les composantes des systèmes à pile à combustible qui sont installés dans des zones potentiellement dangereuses devraient être choisis, installés et entretenus conformément à des normes qui soient au moins équivalentes à celles qui sont jugées acceptables par l'Organisation.⁶

4.1.3 Il faudrait prévoir des moyens de protéger l'installation à pile à combustible contre les courts-circuits et les courants inverses.

4.2 Classification des zones

4.2.1 Pour permettre de choisir plus facilement les appareils électriques voulus et de concevoir des installations électriques appropriées, les zones potentiellement dangereuses ont été classées en zones 0, 1 et 2, telles que décrites aux paragraphes 4.2.2, 4.2.3 et 4.2.4. Lorsque les dispositions normatives des paragraphes 4.2.2, 4.2.3 et 4.2.4 ne sont pas jugées appropriées, la classification des zones indiquée dans la norme 60079-10-1:2020 de la CEI devrait être appliquée et faire l'objet d'un examen spécial par l'Administration.

4.2.2 Zones potentiellement dangereuses de la classe 0

Les zones suivantes devraient être considérées comme des zones potentiellement dangereuses de la classe 0 : l'intérieur des réservoirs tampons, les reformeurs, les tuyaux et le matériel contenant du combustible à faible point d'éclair ou du combustible reformé, tout tuyautage des dispositifs limiteurs de pression ou autres systèmes de dégagement.

4.2.3 Zones potentiellement dangereuses de la classe 1

Les zones ci-après devraient être considérées comme des zones potentiellement dangereuses de la classe 1 :

- .1 Les zones du pont découvert ou locaux semi-fermés sur le pont situés à une distance de 3 mètres ou moins de toute sortie d'hydrogène ou de combustible reformé ou de gaz purgé ou sortie de ventilation de l'espace à pile à combustible.
- .2 Les zones du pont découvert ou locaux semi-fermés sur le pont situés à une distance de 3 mètres ou moins de sorties d'air vicié et de gaz d'échappement.

⁶ Se reporter à la norme CEI 60079-10-1:2020 *Atmosphères explosives – Partie 10-1 : Classification des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses et aux orientations et exemples donnés à titre d'information* dans la norme CEI 60092-502:1999, *Installations électriques à bord des navires – Navires-citernes – Caractéristiques spéciales*.

- .3 Les zones du pont découvert ou locaux semi fermés sur le pont situés à une distance de 1,5 mètre ou moins des entrées dans l'espace à pile à combustible, des prises d'air de ventilation de cet espace et d'autres ouvertures donnant sur des zones de la classe 1.
- .4 Les zones du pont découvert ou locaux semi-fermés situés à une distance de 3 mètres ou moins d'endroits où se trouvent d'autres sources de dégagement d'hydrogène ou de combustible reformé.
- .5 Les espaces à pile à combustible.

4.2.4 Zones potentiellement dangereuses de la classe 2

Les zones ci-après devraient être considérées comme des zones potentiellement dangereuses de la classe 2.

- .1 Les zones situées dans un rayon de 1,5 mètre autour des espaces ouverts ou semi-fermés d'une zone de la classe 1, telle que décrite ci-dessus, sauf indication contraire.
- .2 Les sas à air.

4.2.5 Les **conduits de ventilation** devraient être classés dans la même catégorie que l'espace ventilé.

4.3 Analyse des risques

4.3.1 Il faudrait procéder à une analyse des risques de toute conception ou configuration nouvelle ou modifiée d'une installation électrique à pile à combustible pour s'assurer qu'il est tenu compte de tous les risques que l'utilisation de piles à combustible pose pour l'intégrité du navire. Cette analyse devrait considérer les risques associés à l'installation, à l'exploitation et à l'entretien qui peuvent découler de toute défaillance raisonnablement prévisible.

4.3.2 Il faudrait analyser les risques au moyen de techniques d'analyse acceptables et reconnues et considérer au moins l'influence des facteurs d'exploitation et météorologiques et le risque de dommages mécaniques causés à des éléments, de défaillance électrique, de réactions chimiques indésirables, de toxicité, d'inflammation spontanée des combustibles, d'incendie, d'explosion et de panne d'électricité de courte durée (disjonction générale). Cette analyse devrait garantir l'élimination des risques dans toute la mesure du possible. Les risques qu'il est impossible d'éliminer devraient être atténués selon que de besoin.

5 DISPOSITIFS DE CONTRÔLE, DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

5.1 Dispositions générales relatives aux dispositifs de contrôle, de surveillance et de sécurité

5.1.1 Les parties du dispositif de contrôle des piles à combustible qui concernent sa sécurité devraient être conçues indépendamment de tout autre dispositif de contrôle et de surveillance ou devraient être conformes au processus décrit dans les normes industrielles relatives au niveau de performance ou équivalent qui sont jugées acceptables par l'Organisation.⁷

5.1.2 La pile à combustible devrait être surveillée de la manière recommandée par le fabricant.

⁷ Se reporter à la norme ISO 13849-1:2015-06.

5.2 Détection des vapeurs ou des gaz

5.2.1 Il faudrait équiper d'un dispositif de détection des gaz/vapeurs installé à demeure :

- .1 les espaces à pile à combustible;
- .2 les sas à air (s'il y en a);
- .3 les vases d'expansion/les récipients de dégazage des systèmes auxiliaires du système d'alimentation à pile à combustible dans lesquels des fuites de combustible principal ou reformé peuvent se produire directement dans l'agent du système (par exemple eau de refroidissement); et
- .4 les autres espaces clos où le combustible principal/reformé peut s'accumuler.

5.2.2 Les dispositifs de détection devraient contrôler en permanence les gaz/vapeurs. Le nombre de détecteurs à installer dans l'espace à pile à combustible devrait être fonction des dimensions, de l'agencement et de la ventilation de l'espace. Les détecteurs devraient être placés aux endroits où des gaz/vapeurs risquent de s'accumuler et/ou aux sorties de ventilation. Pour déterminer l'emplacement idéal, il faudrait procéder à une analyse de la dispersion du gaz ou à un essai concret à la fumée.

5.2.3 Deux détecteurs de gaz indépendants situés à proximité l'un de l'autre sont nécessaires aux fins de redondance. Si le détecteur de gaz est à surveillance automatique, l'installation d'un seul détecteur peut être autorisée.

5.3 Fonctionnement de la ventilation

Afin de vérifier l'efficacité du système de ventilation, il faudrait installer un dispositif de détection du débit de ventilation et de la pression dans l'espace à pile à combustible. Un signal indiquant que le moteur du ventilateur est en marche n'est pas suffisant aux fins de vérifier l'efficacité du ventilateur.

5.4 Puisards d'assèchement

Les puisards d'assèchement des espaces à pile à combustible devraient être équipés de détecteurs de niveau.

5.5 Arrêt d'urgence manuel

5.5.1 L'arrêt d'urgence manuel devrait pouvoir être activé depuis les endroits suivants, selon qu'il convient :

- .1 passerelle de navigation;
- .2 centre de sécurité à bord;
- .3 local de commande des machines;
- .4 poste de commande du matériel d'incendie; et
- .5 à proximité de la sortie de l'espace à pile à combustible.

5.6 Fonctions du dispositif d'alarme et du dispositif de sécurité

5.6.1 Détection des vapeurs ou des gaz

5.6.1.1 Si, dans un espace à pile à combustible, une concentration de gaz ou de vapeurs dépassant de 20 % la limite inférieure d'explosivité est détectée, une alarme devrait se déclencher.

5.6.1.2 La détection, dans un espace à pile à combustible, d'une concentration de gaz ou de vapeurs dépassant de 40 % la limite inférieure d'explosivité devrait provoquer l'arrêt du système d'alimentation à pile à combustible concerné et la désactivation des sources d'allumage et devrait entraîner la fermeture automatique de toutes les soupapes nécessaires pour isoler la fuite. Tout assemblage de piles à combustible qui n'est pas certifié apte à pouvoir être utilisé dans les zones potentiellement dangereuses de la classe 1 devrait immédiatement être isolé au sens électrique et mis hors circuit. Les soupapes du système de combustible principal qui alimente l'espace à pile à combustible en combustible liquide ou gazeux devraient se fermer automatiquement.

5.6.1.3 Un détecteur de gaz/vapeur devrait être prévu dans le réservoir en charge/d'expansion du réfrigérant de la pile à combustible et devrait déclencher une alarme.

5.6.2 Détection de liquide

La détection d'une fuite accidentelle de liquide dans l'espace à pile à combustible devrait déclencher une alarme.

5.6.3 Panne de la ventilation

5.6.3.1 En cas de panne de la ventilation dans un espace à pile à combustible, le dispositif de régulation devrait arrêter automatiquement la pile à combustible dans un délai limité. Le délai dans lequel le dispositif de régulation devrait provoquer l'arrêt devrait être examiné au cas par cas à la lumière d'une analyse des risques.

5.6.3.2 À la fin de ce délai, un verrouillage de sécurité devrait être activé.

5.6.4 Boutons-poussoirs d'arrêt d'urgence

L'activation du bouton-poussoir d'arrêt d'urgence devrait interrompre l'alimentation en combustible de l'espace à pile à combustible et couper les sources d'allumage à l'intérieur de l'espace à pile à combustible.

5.6.5 Perte de gaz réfrigérant de la pile à combustible

En cas de perte de gaz réfrigérant, un dispositif de régulation devrait arrêter automatiquement la pile à combustible dans un délai limité. Pour éviter tout dégagement de gaz réfrigérant dans l'espace de la pile à combustible, il faudrait protéger le tuyautage de réfrigérant au moyen d'une enceinte secondaire ou protéger le matériel situé à l'intérieur de l'espace de la pile à combustible contre tout dégagement de gaz réfrigérant. Il faudrait veiller à éliminer le gaz réfrigérant en toute sécurité.

5.6.6 Détection de l'incendie

La détection d'un incendie devrait entraîner l'arrêt automatique et l'isolement de l'alimentation en hydrogène dans la pile à combustible.

5.6.7 Arrêt en cas de haute température des piles à combustible

Si l'assemblage de piles à combustible n'est pas certifié apte à être utilisé dans un espace à pile à combustible classé comme zone potentiellement dangereuse de la classe 1 et que la température de surface de l'assemblage de piles à combustible dépasse 300 °C, le système d'alimentation à pile à combustible devrait immédiatement arrêter et isoler cet espace à pile à combustible.

5.7 Alarmes

5.7.1 Les dispositions de la section 5.6 et le tableau 1 ci-dessous donnent les spécifications des alarmes de l'installation électrique à pile à combustible.

5.7.2 Il peut être recommandé d'installer des alarmes en plus de celles qui sont prescrites dans le tableau 1 dans le cas d'installations électriques à pile à combustible complexes ou non conventionnelles.

Tableau 1 - Alarmes

	Facteurs d'alarme
Détection de gaz à une concentration supérieure de 20 % à la LIE	
Espaces à pile à combustible	HA
Vases d'expansion/réceptacles de dégazage des systèmes de chauffage/refroidissement	HA
Sas à air	HA
Autres espaces fermés dans lesquels du combustible principal/reformé peut s'accumuler	HA
Détection de liquide	
Espace à pile à combustible (paragraphe 5.6.2.1)	HA
Ventilation	
Diminution de la ventilation dans les espaces à pile à combustible	LA
Autres situations d'alarme	
Sas à air, plus d'une porte n'est plus fermée	A
Sas à air, porte en position ouverte lorsqu'il y a une panne de la ventilation	A
<i>A = Alarme activée pour une valeur logique</i> <i>LA = Alarme pour une valeur basse</i> <i>HA = Alarme pour une valeur élevée</i>	

5.8 Mesures de sécurité

5.8.1 Les dispositions mentionnées dans la section 5.6 et le tableau 2 indiquent les mesures de sécurité applicables aux installations électriques à pile à combustible pour limiter les conséquences des défaillances du système.

5.8.2 Il peut être recommandé de prendre des mesures de protection en plus de celles qui sont prescrites dans le tableau dans le cas d'installations électriques à pile à combustible complexes ou non conventionnelles.

Tableau 2 - Mesures de sécurité

	Alarme	Fermeture des soupapes de l'espace à combustible	Arrêt de la source d'allumage	Signal transmis à d'autres dispositifs de contrôle/sécurité activant d'autres mesures
Perte de gaz réfrigérant de la pile à combustible (para-graphe 5.6.5.1)	X	X	X	
Concentration dépassant de 40 % la LIE à l'intérieur de l'espace à pile à combustible (y compris la détection de fuites d'hydrogène mentionnée au para-graphe 2.5.1.4)	X	X	X	Si l'assemblage de piles à combustible n'est pas certifié apte à être utilisé dans les zones potentiellement dangereuses de la classe 1, il devrait être immédiatement isolé au sens électrique et mis hors circuit.
Panne de la ventilation ou perte de dépression dans un espace à pile à combustible	X	X		Un dispositif de régulation devrait arrêter automatiquement la pile à combustible
Détection d'un incendie dans l'espace à pile à combustible	X	X	X	Arrêt de la ventilation, activation du dispositif d'extinction de l'incendie
Bouton d'arrêt d'urgence	X	X	X	
Température de la surface de l'assemblage de piles à combustible > 300 °C	X	X	X	Si l'assemblage de piles à combustible n'est pas certifié apte à être utilisé dans une zone de la classe 1