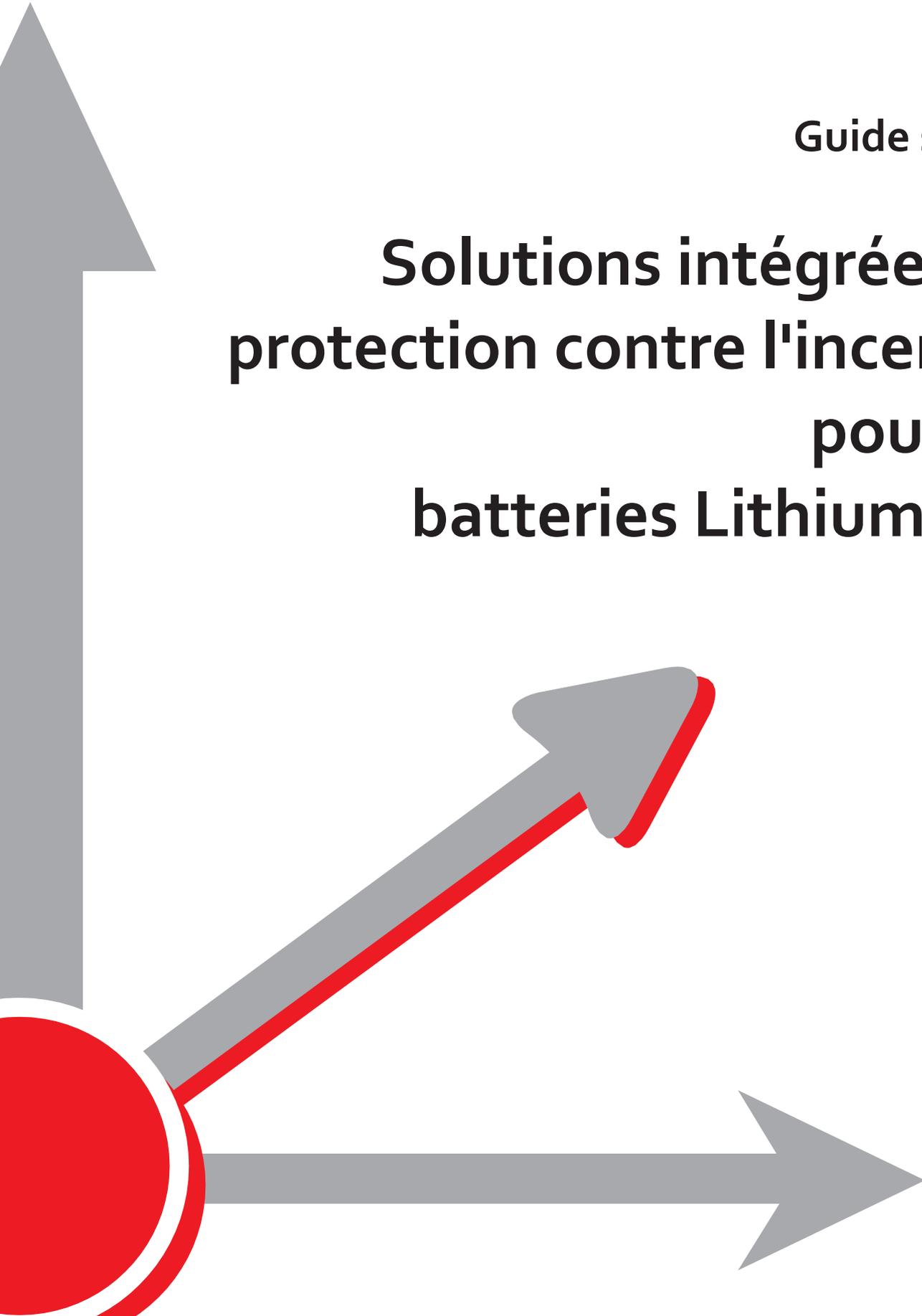


Guide sur les

**Solutions intégrées de
protection contre l'incendie
pour les
batteries Lithium-Ion**



Dernière modification du tableau

Date	Rev #	Qui?	Modification
15.02.2022	V1.0-EN	Équipe	1ère version finale (langue EN)

AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

Ce document est destiné uniquement à guider les membres d'Euralarm et, le cas échéant, leurs membres, sur l'état de l'art concernant son sujet. Bien que tous les efforts aient été entrepris pour garantir son exactitude, les lecteurs ne doivent pas se fier à son exhaustivité ou à son exactitude, ni s'en remettre à une interprétation juridique. Euralarm ne sera pas responsable de la fourniture d'informations incorrectes ou incomplètes.

Remarque: La version anglaise de ce document est le document de référence approuvé par Euralarm.

Copyright Euralarm

© 2022, Zug, Switzerland

Euralarm • Gubelstrasse 11 • CH-6300 Zug • Switzerland

E: secretariat@euralarm.org

W: www.euralarm.org

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	4
2	RÉSUMÉ DE LA GESTION INCENDIE / CONCLUSIONS	4
3	TECHNOLOGIE ET APPLICATIONS DES BATTERIES AU LITHIUM-ION	5
3.1	Applications des batteries Lithium-Ion	6
4	RISQUES D'INCENDIE ET DANGERS DES BATTERIES AU LITHIUM-ION	9
4.1	Risques inhérents aux batteries Lithium-Ion	9
4.2	Causes de défaillance des batteries Lithium-Ion	9
4.3	Étapes des défaillances des batteries Lithium-Ion.....	10
4.4	Risques	10
4.5	L'emballement thermique et ses dangers	11
5	OBJECTIFS ET DÉFIS DE LA PROTECTION INCENDIE	12
6	PROTECTION PASSIVE/PRÉVENTIVE CONTRE L'INCENDIE	13
6.1	Ajout d'un retardateur de flamme pour la stabilité thermique de la batterie.....	13
6.2	Mesures de sécurité en cas de défaillance	13
6.3	Compartiments (protégés contre le feu) comme boîtier supplémentaire pour les batteries.....	13
6.4	Surveillance par système de gestion des batteries (BMS pour « Battery Management System »).....	13
7	TECHNOLOGIES DE DÉTECTION	14
7.1	Introduction.....	14
7.2	Détection de gaz et de particules	14
7.3	Détection de chaleur.....	15
7.4	Détection de fumée	16
7.5	Détection de Flamme	17
7.6	Détection Vidéo d'Incendie et de Fumée (VFD pour « Video Fire Detection »)	17
8	SYSTÈMES DE PROTECTION CONTRE L'INCENDIE (SUPPRESSION ET EXTINCTION)	18
8.1	Systèmes automatiques à eau	18
8.2	Systèmes d'extinction à gaz	19
8.3	Systèmes à base de mousse et d'eau	21
8.4	Systèmes à poudre	22
8.5	Systèmes d'extinction à aérosols	22
8.6	Systèmes de réduction d'oxygène	23
8.7	Extincteurs portatifs	23
9	CONCEPTION DE SOLUTIONS DE DÉTECTION ET D'EXTINCTION D'INCENDIE DANS DIFFÉRENTS ESPACES	25
9.1	Principes de conception	25
9.2	Applications (Environnements des batteries au lithium-ion)	25
10	CONCLUSION	34
11	GESTION POST-INCENDIE	34
11.1	Batteries	34
11.2	Effluents	34
ANNEXES		35
1	TERMES, ABRÉVIATIONS ET DÉFINITIONS UTILISÉS DANS LE PRÉSENT DOCUMENT	35
2	TYPES D'INCENDIE/CLASSES DE FEU	36
3	MATÉRIAUX ET INFORMATIONS UTILISÉS POUR LE PRÉSENT DOCUMENT	37

1 INTRODUCTION

Ce document d'orientation Euralarm fournit des informations sur les questions liées à l'utilisation des batteries au lithium-ion, sur la manière dont les incendies se déclenchent dans les batteries et sur la façon dont ils peuvent être détectés, contrôlés, supprimés et éteints. Il fournit également des conseils sur la gestion post-incendie. Sont exclus du champ d'application les problèmes d'explosion et de ventilation.

Ce document est destiné à guider tous les professionnels qui s'occupent de la sécurité incendie, de la protection contre les incendies, de l'extinction et de la suppression des incendies en rapport avec l'utilisation, le stockage ou le transport des batteries au lithium-ion et leurs risques d'incendie. Les produits de grande consommation ne sont pas traités dans le présent guide.

Ce document a pour but de donner des orientations générales et ne remplace pas les recommandations faites dans des circonstances particulières. Ce document représente la compréhension actuelle de l'industrie et sera mis à jour au fur et à mesure que d'autres enseignements seront disponibles.

2 RÉSUMÉ DE LA GESTION INCENDIE / CONCLUSIONS

Les batteries lithium-ion sont devenues la technologie de batterie de choix dans de nombreux domaines, y compris, entre autres, la production d'énergie, les communications, l'industrie, les véhicules et de nombreuses autres applications. Le contrôle actif de l'énergie stockée et extraite des batteries Lithium-Ion a été la base de leur popularité croissante. La fréquence relativement faible des incidents majeurs témoigne de l'effort et de la conception réussie appliqués à l'aspect critique de l'utilisation de ces produits hautement énergétiques. Cependant, le contrôle actif de l'énergie de la batterie n'est pas suffisant pour prévenir les situations critiques pour la sécurité et de multiples niveaux de protection sont nécessaires pour minimiser les conséquences graves d'une défaillance d'une batterie au lithium-ion.

La simple présence de batteries Lithium-Ion dans une pièce représente un risque d'incendie important car les batteries Lithium-Ion combinent des matériaux à haute énergie avec des électrolytes souvent inflammables. Tout dommage au séparateur à l'intérieur des batteries (causé par des dommages mécaniques ou des températures élevées) peut entraîner un court-circuit interne avec une forte probabilité d'emballement thermique. Une fois qu'une cellule a subi un emballement thermique, il est très probable que la chaleur se propagera aux cellules adjacentes, entraînant une réaction en chaîne avec des conséquences souvent catastrophiques.

Une stratégie cohésive comprenant ; la prévention des risques, la détection précoce, les actions d'intervention, l'extinction active ainsi que la séparation physique, doit toujours être adoptée pour limiter la probabilité et les conséquences d'un incendie de batterie lithium-ion.

Le nombre croissant de batteries Lithium-Ion et la quantité croissante d'énergie stockée dans différentes applications de stockage d'énergie présentent un nouveau type de risque d'incendie où la protection incendie est difficile. Il existe de nombreuses technologies disponibles pour détecter les incendies aux différents stades de leurs développements, mais la détection très précoce joue un rôle clé, offrant une opportunité rapide d'arrêter la propagation de l'emballement thermique et limitant considérablement les dommages globaux. La détection des effluents gazeux qui sont libérés au cours des premières étapes de l'utilisation inadaptée ou de la défaillance de la batterie est un domaine d'innovation et l'approbation de ces systèmes commence à émerger. Les systèmes de détection de fumée et de chaleur sont également applicables à des fins d'alarme incendie et de déclenchement d'un système de protection incendie – en cas d'échec de l'intervention précoce.

Les systèmes automatiques de protection contre les incendies éteignent ou préviennent les incendies naissants afin de protéger les objets, les locaux ou les bâtiments entiers contre les incendies et leurs conséquences. Les agents extincteurs utilisés à cet effet comprennent les agents à base d'eau, les mousses, les poudres, les aérosols et les gaz. Cependant, les points clés de tout système de protection contre l'incendie sont le choix de l'agent le plus approprié pour le danger spécifique, l'agencement du système, la bonne décharge = de l'agent extincteur, ainsi qu'une installation opérante, l'utilisation de systèmes approuvés et un entretien constant par un personnel correctement formé.

Chaque application de protection contre l'incendie nécessite une solution spécifique, basée sur l'utilisation de systèmes approuvés, car il n'existe pas de concept de protection qui convient pareillement à toutes les applications.

Avant de choisir le concept optimal, il convient de prendre en considération les objectifs de la démarche, le concept de protection et les effets secondaires possibles des technologies utilisées. Outre les options techniques disponibles sur le marché, il convient de tenir compte de l'ensemble de l'environnement de l'application.

Enfin, lorsqu'un incendie de batterie est éteint, un risque d'incendie significatif peut subsister, car les batteries impliquées

dans l'incendie et affectées par celui-ci sont susceptibles d'être chaudes et ainsi présentent un risque potentiel d'évacuer des gaz combustibles et toxiques et un risque de rallumage. Il est donc nécessaire que les opérations de gestion post-incendie commencent dès que possible par un personnel convenablement équipé et formé.

3 TECHNOLOGIE ET APPLICATIONS DES BATTERIES AU LITHIUM-ION

Les batteries au lithium-ion (également souvent appelées Li-ion) émergent rapidement comme source d'alimentation et sont devenues la batterie de choix dans de nombreuses applications, en raison de leur rapport élevé poids-énergie.

Technologie de batterie lithium-ion

Les batteries lithium-ion varient beaucoup et continuent d'évoluer en termes de matériaux de construction, de chimie et de configuration. Ils sont rechargeables (contrairement aux batteries au lithium qui ne le sont pas) et contiennent des ions lithium dans un électrolyte inflammable. Ils ne contiennent pas de lithium métal libre, cependant, dans la plupart des cas, les batteries lithium-ion combinent des matériaux à haute énergie avec des électrolytes très inflammables.

Les boîtiers des cellules peuvent typiquement être en métal ou en polymère (Pouch) utilisé pour représenter des cylindres (cartouche gélifié), des sachets/polymères (cartouche gélifié aplati / calepinage / feuillet) ou prismatiques. Les cathodes sont constituées d'un oxyde de lithium, comme l'oxyde de lithium-cobalt sont les anodes, avec notamment le graphite, dans un électrolyte comprenant un séparateur de poly film.

La taille et la configuration des batteries varient en fonction de leur utilisation et de leur application. Des batteries plus grandes peuvent être trouvées dans les systèmes de stockage d'énergie (ESS) et les véhicules, tandis que des batteries plus petites sont utilisées dans les ordinateurs portables et les téléphones mobiles avec de nombreuses applications intermédiaires.

Les batteries sont disposées en série pour augmenter la tension, et en parallèle pour augmenter la capacité.

La figure ci-dessous montre l'évolution attendue de la chimie de la batterie. On s'attend à ce que les technologies des batteries actuelles ici considérées soient encore largement utilisées jusqu'au milieu de la prochaine décennie.

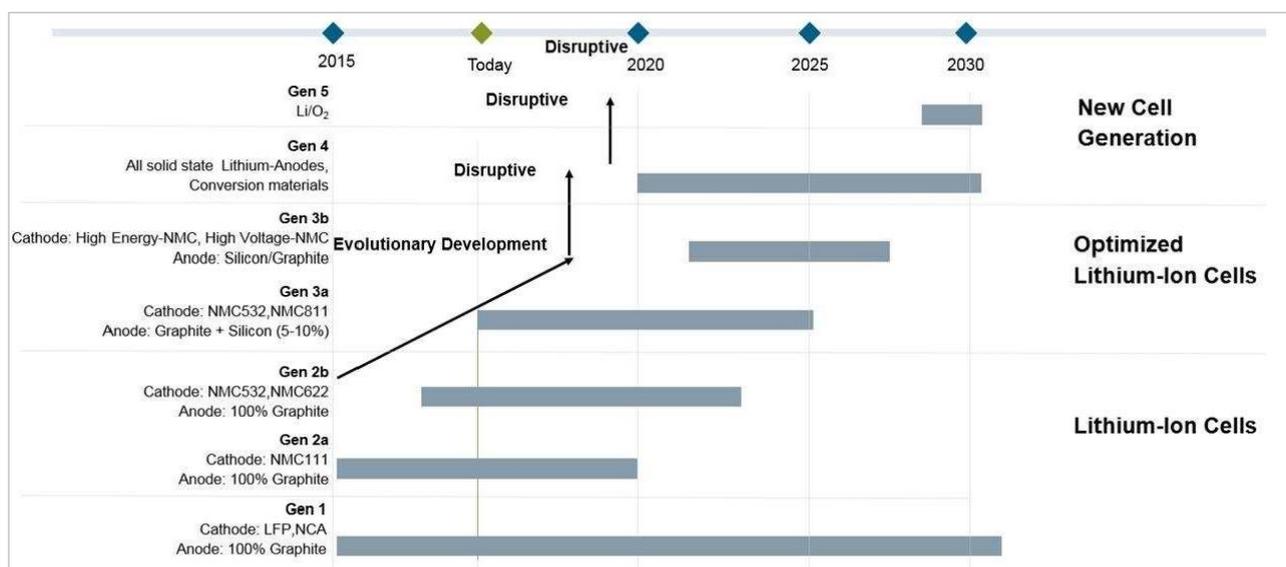


Figure 1: Développement futur des batteries au lithium-ion

(Source : Livre blanc de SIEMENS « Protection contre l'incendie pour les systèmes de stockage d'énergie des batteries au lithium-ion » – mai 2020)

3.1 Applications des batteries Lithium-Ion

Les batteries au lithium-ion offrent des niveaux de capacité plus élevés combinés à un fonctionnement fiable par rapport à d'autres formes de technologie de piles et de batteries, y compris le Nickel-cadmium (Ni-Cd) et le Nickel-hydrure métallique (NiMH). En raison de leurs caractéristiques, les batteries Lithium-Ion sont devenues la technologie de batterie de choix dans une variété de domaines, dont entre autres, la production d'énergie, les télécommunications, l'industrie, les véhicules, les applications militaires et aérospatiales.

Dans les chapitres suivants, vous trouverez une brève description des principales utilisations (applications les plus communes) des batteries rechargeables et de leurs performances typiques dans ces applications. Dans ce contexte, il est important de noter qu'en cas d'incendie, la chaleur de combustion est directement liée à la puissance de la batterie.

Systèmes de Gestion des Batteries (BMS pour « Battery Management System »)

Le composant électronique le plus important pour de nombreuses applications de batterie au lithium-ion est le système de gestion de batterie (BMS) qui, en plus de contrôler et de surveiller l'état de charge de la cellule (pile) et du système, effectue également la surveillance et la gestion de la température pendant les cycles de charge et de décharge.

Un BMS efficace maintiendra les cellules dans la plage de sécurité de fonctionnement prévue, de sorte que les surcharges et les décharges excessives sont évitées.

3.1.1 Petits Appareils Portatifs Rechargeables Individuels et autres produits électroniques couramment utilisés

Le terme générique « Appareils Portatifs » couvre un très large éventail d'applications pour de telles batteries dans un usage grand public et professionnel. Il comprend les téléphones portables, les smartphones, les ordinateurs portables, les tablettes, les liseuses, les appareils photo et de nombreux autres gadgets électroniques alimentés par des piles rechargeables (par exemple, les outils électriques, etc.). Ces produits sont généralement équipés de batteries d'une capacité de 2 à 30 Wh (voir tableau 1).

Appareil	Capacité de la Batterie
Appareils Photo/Cameras	2,5 - 9 Wh
Téléphones Mobiles / Smartphones	7 - 10 Wh
Ordinateurs portables / Tablettes	15 - 27 Wh
Outils Electriques	3,6 - 18 Wh

Tableau 1: Capacité des batteries des appareils portables (Source : chiffres de plusieurs fabricants)

3.1.2 Petite Mobilité Electrique

Le transport électrique léger se compose de différents types de petits équipements/véhicules qui facilitent le déplacement d'une à deux personnes et qui sont équipés d'un moteur électrique assistant le pilotage humain. Cette énergie provient principalement de batteries rechargeables indépendantes. Les batteries de ces produits varient généralement de 50 à 1 250 Wh (voir tableau 2).

Équipement/véhicule	Capacité de la Batterie
Scoter électrique pour personnes à mobilité réduite	50 - 500 Wh
Vélos électriques	500 - 1250 Wh

Tableau 2: Capacité des batteries dans la petite mobilité électrique (Source : chiffres de plusieurs fabricants)

3.1.3 Système d'Alimentation de Secours ou Onduleur (Alimentation sans Coupure)

Un Système d'Alimentation de Secours est une source indépendante d'alimentation électrique qui prend en charge des systèmes électriques importants en cas de perte d'une alimentation normale. Un système d'alimentation de secours peut comprendre un générateur de secours, des batteries et d'autres appareils. Des systèmes d'alimentation de secours sont installés pour protéger la vie et les biens contre les conséquences de la perte de l'alimentation électrique principale. C'est un type de système d'alimentation permanent. Ils sont utilisés dans une grande variété de contextes, des

habitations aux hôpitaux, en passant par les laboratoires scientifiques, les centres de données (Datacenters) les équipements de télécommunication et les navires. Les batteries de ces systèmes **varient généralement de 1 à 200 kWh** (voir tableau 3).

Capacité de la Batterie	
Petite	1 – 5 kWh
Moyenne	50 – 100 kWh
Grande	100 – 200 kWh

Tableau 3: Capacité des batteries d'EPS
(Source : chiffres de plusieurs fabricants des Alimentations de secours EPS (pour « Emergency Power Supply))

3.1.4 Mobilité électrique et véhicules électrique (Electrification des transports)

La mobilité électrique comprend tous les véhicules et bateaux qui sont alimentés par un moteur électrique et tirent principalement leur énergie du réseau électrique – en d'autres termes : peuvent être rechargés extérieurement au véhicule. Cela comprend:

- véhicules purement électriques (VE),
- véhicules à moteur électrique et à petit moteur à combustion (véhicules à autonomie prolongée – REEV pour « Range Extended Electric Vehicle »)
- véhicules hybrides rechargeables par le réseau électrique (véhicules électriques hybrides rechargeables – PHEV PHEV pour « Plug-in Hybrid Electric Vehicle »)
- bus électriques
- bateaux électriques

Les voitures électriques (VE) sont actuellement disponibles sur le marché avec une capacité de batterie comprise **entre 25 et 100 kWh**, alors que d'autres véhicules peuvent atteindre **2500 kWh** (voir tableau 4).

Modéliser	Batterie	
Fiat 500	24 – 42	kWh
Renault Zoe	41 – 52	kWh
Tesla Model 3	55 – 75	kWh
VW ID.4	62 – 82	kWh
Ford Mach-E	76 – 99	kWh
Porsche Taycan	79 – 93	kWh
Bus Electriques	100 – 500	kWh
Bateaux électriques	20 – 200	kWh
Bateaux électriques	200 – 2500	kWh

Tableau 4: Capacité des batteries dans le domaine de l'électrification des véhicules
(Sources : ADAC - General German Automobile Club e.V. et Wikipedia)

3.1.5 Systèmes de Stockage d'Énergie (ESS pour « Energy Storage System »)

Les systèmes de stockage d'énergie par batterie (ESS) couvrent un large éventail d'applications dans la fourniture d'électricité - de la production à la consommation. Ils aident à optimiser la performance des équipements en lissant la demande d'énergie à travers le réseau, en stabilisant la fréquence et la tension et en équilibrant les variations entre l'offre et la demande dans l'alimentation électrique industrielle et domestique.

Quelques exemples d'applications du ESS:

- applications d'alimentation réseaux et micro-réseaux électriques
- approvisionnement en électricité pour l'industrie
- intégration des énergies renouvelables

Actuellement, les ESS sont disponibles sur le marché avec des capacités de batterie comprises entre 5 et 500 kWh et dans de très grandes applications d'une capacité de plusieurs milliers de kWh (voir tableau 5). En raison de l'importante énergie stockée, les systèmes de stockage d'énergie par batterie au lithium-ion sont des applications avec un besoin

manifeste d'une protection incendie complète.

<i>Capacité de la Batterie</i>	
Habitation	5 – 50 kWh
Intermédiaire	200 - 500 kWh
Grande	>4000 kWh

*Tableau 5: Capacité des batteries en ESS
(Source : chiffres collectés par l'équipe éditoriale)*

4 RISQUES D'INCENDIE ET DANGERS DES BATTERIES AU LITHIUM-ION

Le contrôle actif de l'énergie stockée et extraite des batteries Lithium-Ion a été la base de leur popularité croissante. La fréquence relativement faible des incidents majeurs témoigne de l'effort et de la conception réussie appliqués à l'aspect critique de l'utilisation de ces produits hautement énergétique. Cependant, des incidents se produisent et de multiples niveaux de protection sont nécessaires pour minimiser les conséquences graves d'une défaillance d'une batterie au lithium-ion.

4.1 Risques inhérents aux batteries Lithium-Ion

Pour comprendre le risque d'incendie inhérent aux batteries Lithium-Ion, il est important de comprendre d'abord la technologie des batteries.

Au cœur du système de batterie se trouvent les éléments électrochimiques de la batterie. Chaque cellule Lithium-Ion est constituée de deux électrodes, l'Anode (électrode négative) et la Cathode (électrode positive). Ces électrodes sont constituées d'un collecteur et d'une matière active appliquée sur celui-ci. Entre les électrodes se trouve l'électrolyte conducteur d'ions (typiquement inflammable). Il s'agit d'un mélange de sels de lithium dissous dans des solvants organiques avec divers additifs qui agit comme médiateur des processus d'échange d'ions au sein de la cellule. Enfin, un séparateur qui assure la séparation électrique des électrodes tout en facilitant un échange d'ions efficace.

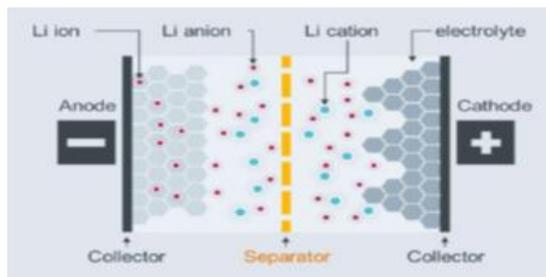


Figure 2: Structure de la Batterie Li-Ion

Comme les batteries au lithium-ion combinent des matériaux à haute énergie avec des électrolytes souvent inflammables, car elles utilisent des solvants organiques, tels que le carbonate d'éthyle mélangé avec des carbonates linéaires à volatilité plus élevée¹, tout dommage au séparateur (causé soit mécaniquement soit par des températures élevées) entraînera un court-circuit interne avec une forte probabilité d'**emballement thermique** (voir chapitre 4.5). Les situations critiques pour la sécurité sont presque inévitables.

REMARQUE : *Pour certaines industries et applications, les cellules de batterie sont contenues dans des blocs-batteries étanches d'indice IP. Cela peut rendre difficile ou impossible le fonctionnement de l'agent de protection contre l'incendie sur les éléments de la batterie. La méthodologie de construction a un impact considérable sur les stratégies de risque et d'atténuation de ceux-ci.*



4.2 Causes de défaillance des batteries Lithium-Ion

La défaillance des batteries au lithium-ion et le risque de surchauffe et / ou d'auto-inflammation qui en résulte (voir « emballement thermique ») peuvent provenir d'une ou de plusieurs des causes suivantes:

- Défauts de fabrication internes (défauts de matériaux, contamination, défauts de montage/construction)
- Dommages physiques (lors de montages sur les produits finis, de l'expédition, de la maintenance, du traitement des déchets ou pendant le service ; qu'ils soient accidentels ou malveillants)
- Défaut du séparateur dû à la formation de dendrite (par vieillissement non détecté² et court-circuit interne subséquent)
- Dégradation mécanique (écrasement / pénétration)
- Endommagement thermique
 - exposition à des températures élevées (stockage sans maîtrise de la température)
 - exposition aux flammes
 - chaleur provenant de cellules adjacentes/voisines *

¹ Des exemples sont EMC (Ethyl Methyl carbonate), DEC (Di-ethyl-carbonate) et DMC (Di-methyl-carbonate)

² Voir l'étude « Influence of Aging on the failing behavior of Automotive Lithium-Ion Batteries » publiée le 7 avril 2021 - disponible sur <https://www.mdpi.com/2313-0105/7/2/23>

- Dégradation électrique
 - surcharge / sur décharge,
 - court-circuit

**) : Les batteries au lithium-ion, par exemple celles utilisées pour les véhicules électriques, sont en fait plusieurs centaines, voire des milliers de cellules individuelles. Si une seule cellule surchauffe, prend feu ou même explose, la propagation de la chaleur à la cellule adjacente peut rapidement conduire à une situation catastrophique.*

4.3 Étapes des défaillances des batteries Lithium-Ion

Les défaillances des batteries lithium-ion comportent quatre étapes distinctes, illustrées dans la figure ci-dessous :

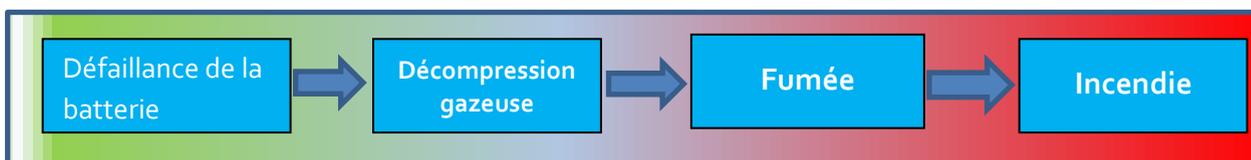


Figure 3: étapes de l'incendie de la batterie

4.3.1 Décompression gazeuse (dégazage)

Le dégazage se produit avant l'emballement thermique, pendant la décompression initiale de la cellule de batterie, puis augmente lorsque l'emballement thermique se produit et se poursuit par la suite. Typiquement, les cellules cylindriques et prismatiques ont des événements de dépression spécialement conçus pour libérer la surpression. Les cellules en sachet n'ont généralement pas de tels mécanismes de relâchement de pression. Au lieu de cela, la poche peut se dilater dans une certaine mesure pour s'adapter à un certain degré de dégagement de gaz, mais sont conçus pour éclater (souvent le long d'une couture ou d'un point faible déterminé) de sorte que la surpression est libérée d'une manière/à un emplacement prévu. Ce dégagement initial de gaz fournit une intéressante possibilité d'intervention précoce, à condition qu'il puisse être détecté.

4.3.2 Fumée

Lorsque les températures générées par une batterie défaillante commencent à dépasser les limites de conception des matériaux de construction, leur décomposition produira de la fumée – spécifiquement formée par les particules de décomposition transportées par les flux d'air thermique qui accompagnent les températures élevées. Dans certains cas, par exemple lorsque la défaillance de la batterie est provoquée par la chaleur extérieure, la fumée peut être libérée avant que des dégazages ne se produisent. La détection précoce de la fumée à ce stade peut et doit être utilisée pour initier des mesures d'intervention. Inversement, lorsque la chaleur est produite à l'intérieur en raison d'autres modes de défaillance (p. ex., surcharge), la fumée et les températures extérieures élevées sont d'avantages susceptibles de se produire après l'apparition d'un dégagement gazeux (comme l'indique la figure 3 ci-dessus).

4.3.3 Incendie

Avec des températures élevées, des nappes de gaz potentiellement inflammables et des quantités croissantes de fumée, le passage à une situation d'incendie et le développement de flammes est presque inévitable – en particulier lorsque l'emballement thermique n'est pas contrôlé et qu'il se propage aux cellules adjacentes de par la croissance exponentielle de la température.

4.4 Risques

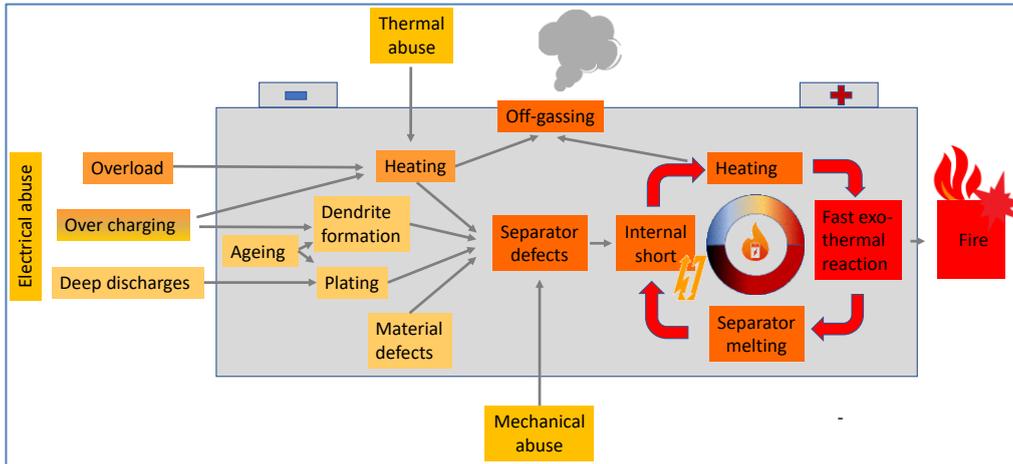
À partir du moment où un incendie est établi et se développe, l'action passe de la prévention de l'incendie au contrôle et à la suppression. La simple présence de batteries Lithium-Ion dans une pièce représente un risque d'incendie majeur - qu'elles soient en stockage ou en fonctionnement. Par conséquent, des mesures doivent toujours être prises pour limiter la propagation du feu dans le cas où cela se produirait. Ainsi, le contrôle de l'incendie est une disposition essentielle en relation avec l'atténuation du risque et doit prendre en compte les conséquences graves d'un incendie de batterie au lithium-ion, y compris :

- Dégagement de gaz toxiques (HF, CO, CO₂, POF₃, etc.)
- Dégagement de chaleur
- Combustion de matériaux inflammables
- Risque d'explosion

4.5 L'emballlement thermique et ses dangers

4.5.1 Qu'est-ce qu'un « emballlement thermique » ?

L'emballlement thermique de la batterie lithium-ion se produit lorsqu'une seule cellule, ou une zone à l'intérieur d'une cellule, atteint des températures élevées en raison d'une défaillance thermique, d'une défaillance mécanique, d'un court-circuit interne/externe, d'une décharge excessive, d'une surcharge ou d'un dysfonctionnement électrochimique. Lorsque la température interne de la cellule devient suffisamment élevée pour enflammer l'électrolyte, qui est un liquide organique, les oxydes de la cathode se décomposent et libèrent de l'oxygène. Ainsi, dans la pile endommagée, il y a maintenant du combustible (électrolyte organique liquide) et de l'oxygène (à partir des oxydes de la cathode) ingrédients pour un incendie qui peut générer son propre oxygène, ce qui le rend extrêmement difficile à éteindre.



À des températures élevées (avant l'emballlement thermique), la décomposition exothermique des matériaux de la cellule commence. En conséquence, la pression interne dans la cellule va augmenter jusqu'à ce que la vapeur d'électrolyte soit libérée d'abord par l'intermédiaire d'une soupape de décharge ou par la rupture prévue de l'enveloppe. La détection précoce des vapeurs libérées au cours des phases initiales de dégazages peut permettre d'intervenir sur les dispositifs entourant la batterie – en particulier les systèmes de charge et de refroidissement qui y sont associés. A ce stade, les gaz prédominants sont les solvants électrolytiques.

Au final, la vitesse d'auto-échauffement de la cellule est supérieure à la vitesse à laquelle la chaleur peut être dissipée dans son environnement, la température de la cellule augmente de manière exponentielle, la stabilité est finalement perdue et un emballlement thermique s'ensuit. À ce stade, les gaz émis sont révélateurs de la décomposition thermique et comprennent du CO, du CO₂ et du H₂. La perte en stabilité entraîne également la libération de toute l'énergie thermique et électrochimique restante dans son milieu.

L'emballlement thermique commence généralement dans une seule cellule avant que la propagation thermique ne crée un effet domino à travers les cellules adjacentes. Dans le cas où un tel emballlement thermique commence :

- aucune technologie avérée ne permet d'ARRÊTER un emballlement thermique dans une pile
- l'emballlement n'a pas besoin d'oxygène pour se développer
- il ne dure au début que quelques secondes dans une seule cellule – en fonction du nombre de cellules dans un système de batterie et par effet domino, il peut durer des heures jusqu'à plusieurs jours au total.
- ainsi, il conduit à des températures élevées (plus de 600°C) dans les matériaux, durant de nombreuses heures.

4.5.2 Causes d'un emballlement thermique

La conception complexe et élaborée, la densité d'énergie toujours plus élevée et le vieillissement³ de la batterie sont les causes du danger. Les défauts et les dommages physiques peuvent également créer des courts-circuits internes conduisant à la défaillance des cellules. D'autres événements susceptibles de conduire à une défaillance des cellules se produisent en dehors des cellules et peuvent donc être détectés. La phase d'emballlement thermique se caractérise

³ Voir l'étude « Influence of Aging on the Failing behavior of Automotive Lithium-Ion Batteries » publiée le 7 avril 2021 Disponible sur <https://www.mdpi.com/2313-0105/7/2/23>

par une augmentation de la température et un dégagement de chaleur ainsi qu'une décompression/dégazage de l'électrolyte inflammable/ toxique. Cela s'accélère à mesure que la défaillance de la cellule approche. Sans contre-mesures, un mélange explosif gaz-air sera généré : si une source d'inflammation est présente, une explosion peut en résulter. Si le réchauffement n'est pas arrêté, un emballement thermique se produira.



Remarque : *Le potentiel d'emballement thermique est influencé par l'état de charge, les conditions de fonctionnement, les matériaux des électrodes de la batterie, l'électrolyte et le séparateur.*

5 OBJECTIFS ET DÉFIS DE LA PROTECTION INCENDIE

Le nombre croissant de batteries Lithium-Ion et la quantité croissante d'énergie stockée dans différentes applications de stockage d'énergie présentent un nouveau type de risque d'incendie qui n'est pas entièrement appréhendé sur le marché. La protection contre l'incendie est un défi à plusieurs niveaux, mais aux fins du présent document, elle est divisée en trois aspects distincts :

- Prévention (protection incendie passive/préventive):
 - Toute possibilité de prévenir une situation dangereuse doit être explorée
 - Un choix correct des matériaux est essentiel
 - Une compartimentation et une séparation appropriées des équipements sont nécessaires
 - Une gestion précise de l'énergie et une surveillance de la puissance pendant la charge et la décharge des batteries sont essentielles.
 - Voir chapitre 6 pour plus de détails
- Détection incendie:
 - Une détection fiable des premiers signes d'un événement constituant un risque peut permettre le temps d'intervention et éviter une escalade de la dangerosité
 - Peut fournir un signal approprié pour le déclenchement d'un système de protection incendie si l'intervention précoce échoue
 - Voir chapitre 7 pour plus de détails
- Protection contre l'incendie
 - Éteindre les flammes extérieures, mais l'extinction des flammes ne suffit pas à elle seule
 - Le refroidissement est essentiel pour réduire les températures élevées qui se produisent
 - Refroidir tout au long du processus d'emballement thermique dans le compartiment enflammé (la conception doit garantir que le refroidissement est possible pendant une période suffisamment longue pour que le danger s'estompe)
 - Arrêter la propagation de l'emballement thermique du module enflammé aux autres modules
 - Surveiller la diffusion de la surpression du module de batterie due au dégazage, c'est-à-dire, pas de projectiles, etc.
 - Voir chapitre 8 pour plus de détails

À toutes les étapes, il est important de tenir compte du fait qu'il existe différents fabricants de batteries, de nombreux types de batteries et de produits chimiques associés, sur le marché.

6 PROTECTION PASSIVE/PRÉVENTIVE CONTRE L'INCENDIE

La protection passive et/ou préventive contre l'incendie est définie comme « la réduction du risque d'incendie » ou « la réduction des dégâts en cas d'incendie » par des mesures préventives. Ceci peut aujourd'hui être réalisé par :

6.1 Ajout d'un retardateur de flamme pour la stabilité thermique de la batterie

Le terme « retardateur de flamme » englobe un groupe diversifié de produits chimiques qui sont ajoutés aux matériaux manufacturés, tels que les matières plastiques et les textiles, ainsi que les traitements de surface et les peintures/verniss. Les retardateurs de flamme sont activés par la présence d'une source d'inflammation et sont destinés à empêcher ou à ralentir le développement de la combustion par une variété de différentes méthodes physiques et chimiques.

6.2 Mesures de sécurité en cas de défaillance

Mesure l'arrêt et/ou la diminution des dommages causés par l'emballement thermique, y compris la neutralisation du séparateur et la dépressurisation de la cellule.

6.3 Compartiments (protégés contre le feu) comme boîtier supplémentaire pour les batteries

Une méthode de gestion des incendies dans les batteries au lithium-ion est de contenir la batterie et son incendie pour éviter qu'il ne se propage à d'autres cellules ou aux matériaux. Cela peut être une solution pour les petits appareils portables alimentés par batterie. À l'heure actuelle, par exemple, la plupart des compagnies aériennes commerciales fournissent un fourreau ignifuge aux équipages d'aéronefs ce qui a permis de contenir les petits incendies de batterie à bord des aéronefs.

À mesure que la taille de la batterie augmente, le choix des méthodes de confinement devient plus compliqué. Par exemple, en ce qui concerne les systèmes sur véhicules, le confinement augmentera le poids du véhicule, ce qui n'est pas forcément la meilleure solution, mais la protection du bloc-batterie contre les dommages mécaniques est employée comme compromis.

Pour les grands systèmes de stockage d'énergie, l'utilisation de parois coupe-feu entre les blocs de cellules et leur logement dans des conteneurs ISO séparés peuvent atténuer la propagation du feu de l'un à l'autre. L'utilisation de conteneurs résistants au feu (généralement une résistance au feu de plus de 90 minutes) avec protection anti-explosions peut être utilisée pour les grands systèmes et même pour les véhicules après un accident. Ces conteneurs peuvent également être équipés d'un système de suppression/extinction.

6.4 Surveillance par système de gestion des batteries (BMS pour « Battery Management System »)

Un système de gestion de batterie (BMS), lorsqu'il est installé, peut fournir des indications précoces pour l'identification de caractéristiques de fonctionnement inhabituelles des batteries. Les paramètres tels que la température de la cellule, la tension, le courant, l'état de charge, etc. peuvent être surveillés, et contrôlés par le BMS et, en cas de données anormales, une alarme ou une autre commande/action est activée.

Les mesures d'atténuation peuvent comprendre :

- arrêt partiel ou complet du système
- augmentation de la ventilation pour réduire l'accumulation possible de vapeurs explosives
- refroidissement accru pour extraire rapidement le maximum de chaleur possible

Il est essentiel d'arrêter et d'isoler rapidement les groupes individuels de batteries pour bénéficier des avantages que confèrent les systèmes de détection et d'extinction – qui sont eux-mêmes déclenchés lorsque des événements échappant au contrôle du BMS se produisent (ou lorsque le BMS lui-même fonctionne mal). »



REMARQUE : Un projet dans le cadre d'Horizon 2020 – «Electric Vehicle Enhanced Range, Lifetime and Safety Through INGenious battery management (EVERLASTING)» - a pour objectif de développer des technologies innovantes pour améliorer la fiabilité, la durée de vie et la sécurité des batteries Lithium-Ion en développant des systèmes de surveillance et de gestion des batteries plus fiables et normalisés. Cela permet de prévoir le comportement de la batterie en toutes circonstances et sur toute sa durée de vie et permet une gestion proactive et efficace des batteries, ce qui conduit à plus de fiabilité et de sécurité, et permet de prévenir les problèmes plutôt que de les atténuer. Plus de détails sur ce projet sont disponibles sur <https://everlasting-project.eu/>

7 TECHNOLOGIES DE DÉTECTION

7.1 Introduction

Dans les applications et les équipements avec des batteries au lithium-ion, une détection (très) rapide des cellules/batteries présentant des signes anormaux est nécessaire pour éviter un emballement thermique. C'est pourquoi, une détection rapide et fiable des incendies est indispensable lors de la conception de systèmes de protection contre l'incendie pour les systèmes de batteries au lithium-ion. Cependant, l'environnement dans lequel les batteries sont normalement utilisées a un impact important sur l'adéquation des différentes solutions, en particulier sur les utilisations mobiles telles qu'une bicyclette ou une voiture où la plupart des systèmes de détection ne peuvent pas être installés.

De plus, tout incendie embryonnaire, qui pourrait survenir dans une zone adjacente, doit être rapidement éteint à l'aide de systèmes d'extinction automatique et spécifiques afin d'éviter qu'un grand nombre de cellules, de batteries ou de modules de batteries ne subissent un emballement thermique et ne prennent feu (voir les chapitres suivants).

Tout incendie dans les batteries Lithium-ion, commence par la propagation de gaz et de particules. Ensuite, dans les étapes successives du développement du feu, la fumée devient visible avec la formation subséquente de flammes.

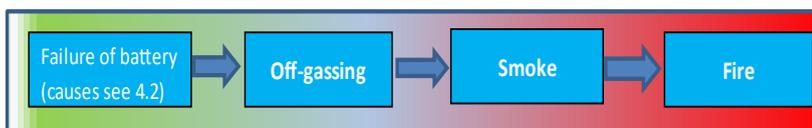


Figure 5: Étapes de l'incendie de la batterie

Il existe de nombreuses technologies disponibles pour détecter de tels incendies aux différents stades, mais avant de choisir un système de détection, certains principes de base doivent être pris en compte :

- Une **détection très précoce de l'incendie basée sur le gaz ou la fumée est possible après le commencement du dégazage d'une cellule**. Après un tel événement de décompression, une détection fiable peut être effectuée avec différents types de technologies.
- **Le système de détection joue un rôle clé**, en tant que mesure précoce pour arrêter la propagation de l'emballement thermique et limiter de manière significative les dommages globaux
- Comme les différentes technologies de détection et les différents types de détecteurs ayant des caractéristiques différentes, **une solution appropriée doit être choisie au cas par cas ou en fonction des applications / installations**.

7.2 Détection de gaz et de particules

Les produits/systèmes de détection de gaz détectent les concentrations moléculaires de gaz ou de fumées dans l'air. Ils peuvent être sensibles aux substances typiques de l'emballement thermique tels que l'hydrogène (H₂), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂), mais les systèmes qui sont sensibles aux solvants organiques utilisés comme électrolytes ont le potentiel de détecter les dégagements gazeux qui, comme expliqué ci-dessus, peuvent se produire avant l'emballement thermique.

Lorsqu'il existe des compartiments de batterie, les détecteurs de gaz sensibles au H₂, au CO ou au CO₂ peuvent fournir des alertes et être raccordés au système de gestion de la batterie et aux systèmes de protection contre l'incendie. Les détecteurs de gaz sont capables de détecter des niveaux aussi bas que 1 ppm, fournissant ainsi une alerte précoce.

Les systèmes capables de détecter les dégagements gazeux ou les particules émises lors de dégazage à de faibles concentrations peuvent fournir une alerte précoce d'un emballement thermique imminent – et activer des systèmes de coupure pour isoler électriquement la cellule, la batterie ou le rack de cellule de la batterie – et ainsi éviter un emballement thermique. De tels systèmes reposent généralement sur un certain niveau de protection autour des batteries, tel qu'un container ESS ou une salle abritant de nombreux groupes de batteries. En règle générale, les détecteurs de fumée aspirants très sensibles sont utilisés comme détecteurs de particules réagissant aux gaz des fumées lorsqu'ils sont libérés plutôt qu'aux molécules particulières de gaz/HC.

Pour une détection efficace des dégagements gazeux, les dispositifs de ventilation doivent être pris en compte. Cependant, il est fréquent que la circulation de l'air soit utilisée pour maintenir les batteries refroidies pendant les opérations normales de charge. Par conséquent, les capteurs d'événements de dégagement gazeux doivent être positionnés de manière stratégique et être suffisamment sensibles pour détecter les premiers signes de dégagement

gazeux avant qu'ils ne deviennent trop disséminés – ou dans le cas de vapeurs se retrouvent de nouveau à l'état gazeux.

De plus, la détection des dégagements gazeux positionnée de manière stratégique peut permettre de connaître les conditions à l'intérieur d'une installation ; par exemple, en fournissant des informations sur l'endroit où l'incident a commencé afin d'aider le personnel à répondre à un événement, ainsi que des informations plus générales sur tout risque dangereux ou toxique qui peut indiquer que pénétrer dans l'installation n'est pas souhaitable.

Il n'existe actuellement aucune norme de produit EN spécifique pour les détecteurs de gaz de dégazage.

7.3 Détection de chaleur

7.3.1 Détecteurs ponctuels

Les détecteurs de chaleur sont équipés d'un élément sensible à la température et fonctionnent comme suit :

a) Détecteur à température fixe

Dans ces détecteurs, une température maximale est définie. En cas de dépassement de cette température, le détecteur passe en état d'alarme. Ces détecteurs ne réagissent que lorsqu'une certaine température est atteinte, indépendamment de la densité de fumée et d'autres valeurs caractéristiques.

b) Détecteur d'augmentation en température

Avec les détecteurs à élévation rapide de température, l'augmentation de la température par unité de temps requise pour déclencher une alarme est définie (K/min). Si l'augmentation de température mesurée par unité de temps dépasse ce seuil, une alarme est déclenchée. Les détecteurs d'élévation de température sont généralement basés sur le principe fonctionnel d'une thermistance.

7.3.2 Détecteurs linéaires de chaleur.

Les systèmes de détection linéaire de chaleur sont constitués d'un capteur de type linéaire et d'une unité de diagnostic. Le capteur est soit un câble avec des conducteurs électriques ou optiques, un câble avec un certain nombre de capteurs ou un conduit. Ces unités de diagnostic peuvent être connectées à des systèmes supérieurs, ce qui permet de visualiser les valeurs mesurées et de commander/déclencher plusieurs autres opérations (par exemple, la protection contre l'incendie).

7.3.3 Caméras IR

Une caméra thermographique, également appelée caméra infrarouge (IR) ou caméra d'imagerie thermique, est un dispositif qui crée une image en utilisant le rayonnement infrarouge, semblable à une caméra ordinaire qui produit une image en utilisant la lumière visible. La technique de l'acquisition et de l'analyse des données qu'ils fournissent est appelée thermographie.

La théorie de fonctionnement repose sur le fait que tous les objets émettent une certaine quantité de rayonnement en fonction de leur température. En général, plus la température d'un objet est élevée, plus le rayonnement infrarouge est émis. Une caméra IR peut détecter ce rayonnement de la même manière qu'une caméra ordinaire détecte la lumière visible. Elle fonctionne également dans l'obscurité totale parce que le niveau de lumière ambiante n'a pas d'importance. Cela la rend utile pour toute opération dans des applications sans lumière et pour une utilisation 24h/24 -7j/7.



REMARQUE : Dans la plupart des cas, la détection de la chaleur ne peut pas être considérée comme une détection précoce, en particulier pour l'application du présent document. Cependant, il est malgré tout mentionné pour donner une vue d'ensemble et au cas où aucun autre principe de détection n'est applicable dans une application spécifique.

7.4 Détection de fumée

Les particules en suspension dans l'air présentent différents types et différentes catégories de tailles de particules. La zone bleue montre une distribution granulométrique typique de la fumée provenant d'un incendie avec un nombre maximal de particules d'environ 0,2 µm. La zone rouge montre une distribution granulométrique des particules de poussière avec un maximum à 90 µm.

Alors que la figure 6 indique que la plupart des particules de fumée ont une taille inférieure à 1 µm (zone bleue) et que les phénomènes perturbateurs tels que les particules de poussière sont généralement plus grands que 1 µm (zone rouge), la distinction n'est pas tout à fait aussi nette – en particulier lorsque les particules de fumée/vapeur s'agglomèrent ou lorsque la poussière est particulièrement fine. Cependant, ce principe peut aider les détecteurs de fumée très sensibles à atteindre un certain niveau de discrimination entre les particules de fumée et les potentielles alarmes de nuisance gênantes.

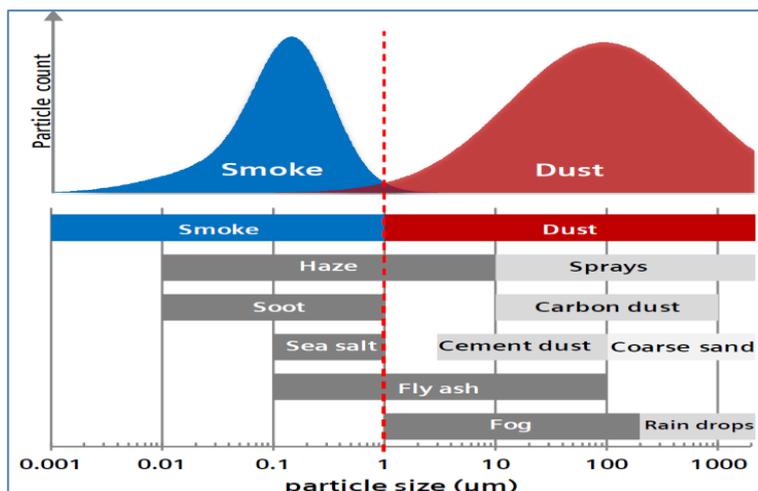


Figure 6: Taille des particules de fumée et de poussière

7.4.1 Détecteurs de fumée ponctuels et multi-capteurs

Ce sont les détecteurs les plus couramment utilisés dans les systèmes de sécurité incendie. Ils sont utilisés dans les zones où l'on peut s'attendre à des incendies naissants générant de la fumée et où il n'y a que peu ou pas de phénomènes trompeurs. Les détecteurs de fumée à lumière diffuse sont les plus fréquemment utilisés. Ils fonctionnent optiquement, en détectant la lumière diffusée par la fumée, bien qu'historiquement ils utilisaient une chambre d'ionisation. Ils sont particulièrement adaptés à la détection de petites particules de fumée.

De plus en plus, les détecteurs ponctuels multisensoriels combinant la détection optique des fumées et la détection thermique (et dans certaines variantes également le CO) sont de plus en plus courants. Grâce à l'interconnexion intelligente des signaux des capteurs, de tels détecteurs sont en mesure d'offrir une détection plus fiable.

7.4.2 Détecteurs de fumée linéaires (à faisceau)

Les détecteurs de fumée linéaires (à faisceau) fonctionnent en mesurant l'atténuation de la lumière causée par la fumée. Les systèmes logeant l'émetteur et le récepteur dans le même boîtier utilisent un réflecteur à distance et présentent l'avantage qu'ils doivent être câblés dans la ligne de détection qu'en un seul point, et que l'entretien est plus facile. Dans les systèmes sans réflecteur, l'émetteur et le récepteur sont séparés. Cependant, les deux systèmes fonctionnent selon le même principe de mesure.

Les détecteurs de fumée linéaires (à faisceau) sont utilisés dans les zones où la production de fumée est prévisible et où les détecteurs de fumée ponctuels ne peuvent pas être utilisés. Les domaines d'application typiques pour les détecteurs de fumée linéaires (à faisceau) sont les suivants :

- les pièces très hautes (atriums, hangars)
- les grands halls dans lesquelles l'entretien des détecteurs ponctuels serait plus difficile ou plus coûteux que celui des détecteurs linéaires de fumée
- les bâtiments historiques dans lesquels les détecteurs ponctuels sont indésirables pour des raisons esthétiques



REMARQUE : Dans la plupart des cas, la détection linéaire (par faisceau) de fumée ne peut être considérée comme une technologie de détection précoce, en particulier pour l'application du présent document. Cependant, il est malgré tout mentionné pour donner une vue d'ensemble et au cas où aucun autre principe de détection n'est applicable dans une application spécifique.

7.4.3 Détecteurs de fumée aspirants

Les détecteurs de fumée par aspiration (également appelés détecteurs de fumée à prélèvement d'air ou ASD pour « Aspirating Smoke Detector ») fonctionnent par prélèvement d'échantillons d'air de la zone surveillée vers la chambre de détection via un réseau de tuyaux au moyen d'un système d'aspiration/ventilation approprié.

Les ASD intègrent généralement des filtres pour éliminer les particules de poussière qui peuvent entraîner une alarme intempestive et peuvent également intégrer une technologie pour leur permettre de détecter et de distinguer les particules semblables à de la fumée (~ 0,2 µm) et de la poussière (>1 µm de taille de particule). Ils sont généralement utilisés partout où la fumée doit être détectée le plus tôt possible et où les détecteurs ponctuels sont peu sensibles ou insuffisamment résistants à l'encrassement. Des détecteurs de fumée aspirants à haute sensibilité sont capables de détecter des événements de dégagement gazeux en détectant le mélange de gaz et de particules dans le gaz de décompression gazeuse provenant de batteries lithium-ion par détection de particules comme détecteurs de gaz d'alerte précoce.

7.5 Détection de Flamme

Les détecteurs de flamme convertissent le rayonnement électromagnétique émis par les flammes en un signal électrique. Pour éliminer autant que possible les défauts et les perturbations dus à la lumière du soleil, à la lumière réfléchie, aux lampes et autres sources lumineuses, la plage de détection des détecteurs est décalée du visible à l'invisible. La plupart des détecteurs de flamme fonctionnent donc dans le domaine de l'ultraviolet ou de l'infrarouge et surveillent également le scintillement caractéristique produit par les flammes.

Les détecteurs de flamme sont utilisés dans des zones où des incendies à feux ouverts peuvent se produire très rapidement et où de grandes zones dégagées doivent être surveillées.

7.6 Détection Vidéo d'Incendie et de Fumée (VFD pour « Video Fire Detection »)

La détection vidéo d'incendie et de fumée est basée sur des vidéos provenant de caméras, combinées à une analyse vidéo intelligente. Il est utilisé dans de nombreuses applications de sûreté/sécurité, en particulier dans des environnements complexes et de grandes zones ouvertes.

Les VFD ont le potentiel de minimiser le temps de détection par rapport aux autres techniques décrites ci-dessus, dans les applications intérieures et extérieures, car les caméras peuvent surveiller les "volumes" et ne doivent pas être obligées d'attendre que la fumée les atteigne. Cependant, il s'agit toujours d'une technologie émergente qui s'appuie sur des algorithmes complexes pour différencier les situations similaires à de la fumée/flamme d'un véritable événement de fumée ou d'incendie.

8 SYSTÈMES DE PROTECTION CONTRE L'INCENDIE (SUPPRESSION ET EXTINCTION)

Les systèmes automatiques de protection incendie éteignent ou préviennent les incendies naissants afin de protéger les objets, les locaux ou les bâtiments entiers contre les incendies et leurs conséquences.

Les agents extincteurs utilisés à cet effet sont liquides (eau), biphasés (mousse), solides (poudre), gazeux (gaz) ou aérosols. Selon l'agent extincteur, la chaleur et/ou l'oxygène sont extraits du feu, c'est-à-dire séparés du combustible. L'effet d'extinction ou de suppression commence pendant le temps d'émission et se termine après l'expiration du temps de maintien. L'intervention et l'activation du système de protection contre l'incendie doivent être harmonisées en conséquence.

Point clé dans tout système de protection contre l'incendie : La disposition de chaque système et surtout l'émission correcte de l'agent extincteur sous une pression suffisante sont déterminantes pour le bon fonctionnement du système d'extinction. Bien sûr, non seulement la définition et la conception d'un système, mais aussi une installation correcte, l'utilisation de systèmes approuvés⁴ et l'entretien régulier par un personnel dûment formé et certifié⁵ sont des points clé.

8.1 Systèmes automatiques à eau

L'eau est l'agent extincteur le plus fréquemment utilisé et le plus largement distribué. Elle est utilisée dans différents systèmes sprinkler ainsi que dans les systèmes de pulvérisation d'eau et de brouillard d'eau. Alors que l'activation des systèmes sprinkler est principalement liée à la température, d'autres systèmes nécessitent généralement l'activation par des détecteurs automatiques d'incendie.

L'objectif principal des systèmes à base d'eau est la protection du bâtiment et des espaces. Pour la protection des équipements électriques, les risques d'endommagement des équipements associés aux systèmes à base d'eau doivent être pris en compte.

L'effet de refroidissement des systèmes automatiques à eau dépend de la configuration de la batterie et il peut être difficile d'atteindre la zone en feu («espaces cachés»).

Efficacité : Fort effet de refroidissement, empêche la propagation du feu à d'autres objets



REMARQUE : Les agents à base d'eau sont électriquement conducteurs, sauf si de l'eau déminéralisée est utilisée. L'eau déminéralisée devient électriquement conductrice lorsqu'elle est en présence de composés, tels que le sel, qui peuvent être présents dans la zone à risque.

8.1.1 Systèmes sprinkler

Le système automatique à eau le plus couramment utilisé est le système sprinkler. Ces systèmes sont utilisés dans presque tous les domaines de l'industrie, les grandes entreprises, les grands magasins, les garages, les lieux de réunion, les écoles, les hôpitaux, les hôtels, les aéroports, etc. Ils sont constitués de buses spéciales, maintenues fermées par des éléments fusibles sensibles à la chaleur, montées sur des tuyauteries en acier, au niveau du plafond/toit, et connectées à une alimentation en eau dédiée via des vannes de contrôle. La chaleur d'un incendie provoque l'ouverture d'une ou de plusieurs buses qui déversent de l'eau sur le foyer de l'incendie et les combustibles adjacents. Les quantités d'eau et le nombre de buses qui devraient s'ouvrir augmenteront à mesure que la densité calorifique et le taux de développement du feu augmenteront.

Les buses sont automatiquement activées individuellement lorsque la température à la tête dépasse une valeur critique. Comme l'activation déclenche automatiquement l'alimentation en eau, les systèmes sprinkler servent également de systèmes de détection d'incendie et déclenchent une alarme.

Efficacité : Fort effet de refroidissement, empêche la propagation du feu à d'autres objets

⁴ Voir *Euralarm-Guide système approuvé versus composants approuvés* – disponible publiquement : voir : <https://euralarm.org/euralarm-publications/public-guidelines/guidance-on-garby-systems-approved-systems-versus-approved-components>

⁵ Voir le guide d'Euralarm sur « la maintenance des systèmes/équipements d'extinction » – publié au T4/2021

8.1.2 Systèmes de pulvérisation d'eau et Déluge

Les systèmes déluge (également appelés "pulvérisation d'eau") sont, en termes de configuration, similaires aux systèmes sprinkler. Les deux différences les plus significatives sont que le système est équipé de buses ouvertes ; les pulvérisateurs n'ont pas d'éléments sensibles à la chaleur et pour activer les vannes déluge, un système de détection d'incendie séparé est nécessaire.

Les systèmes de pulvérisation d'eau appliquent de l'eau à travers de nombreuses buses de pulvérisation. Le système déluge a été développé pour les zones à charge combustible particulièrement élevée, telles que les installations de stockage de combustible où une croissance rapide d'un incendie est attendue. Dans de tels cas, une détection d'incendie plus rapide que celle fournie par des ampoules fusibles est nécessaire afin que l'eau puisse être appliquée plus tôt pour attaquer le feu avant qu'il ne se développe et mette le système en échec.

En raison des très grands volumes d'eau projetés, les systèmes de pulvérisation d'eau nécessitent une grande capacité d'alimentation en eau.

La détection électronique permet une diffusion d'eau plus rapide que les buses automatiques.

Efficacité : Fort effet de refroidissement, empêche la propagation du feu à d'autres objets

8.1.3 Systèmes à brumisation d'eau/Brouillard d'eau

Les systèmes de brouillard d'eau utilisent de petites gouttelettes d'eau pour refroidir les flammes et étouffer les incendies par vaporisation rapide de l'eau. De plus, le brouillard d'eau absorbe le rayonnement pour protéger l'environnement.

Contrairement à la technologie sprinkler conventionnelle, ces systèmes tentent d'obtenir un spectre de gouttelettes avec les plus petits diamètres possibles en appliquant des technologies à basse ou haute pression (et des buses spécialement conçues). Les petites gouttelettes ont un rapport surface/volume d'eau plus important, ce qui permet une vaporisation plus rapide et un refroidissement plus efficace. Par rapport aux systèmes sprinkler, la technologie du brouillard d'eau vise à réduire considérablement les volumes d'eau, comme l'ont montré les essais et les approbations. Leur base de conception est toujours déterminée par des essais feu à grande échelle. Par conséquent, le brouillard d'eau ne doit être utilisé pour la protection des batteries au lithium-ion que lorsqu'il existe un protocole d'essai établi.

La détection électronique permet une diffusion d'eau plus rapide que les buses automatiques.

Efficacité : Fort effet de refroidissement, empêche la propagation du feu à d'autres objets

8.2 Systèmes d'extinction à gaz

Les systèmes d'extinction à gaz utilisent soit des gaz inertes, soit du CO₂, soit des agents extincteurs synthétiques. Les gaz inertes et le CO₂ s'éteignent par diminution du taux d'oxygène, les agents d'extinction synthétiques éteignent par absorption de chaleur. Ils sont conçus pour éteindre un incendie dans des environnements sensibles où l'eau ou d'autres agents extincteurs ne sont pas souhaités en raison du risque de dommages consécutifs.

Les agents extincteurs gazeux sont électriquement non conducteurs, volatils et gazeux lorsqu'ils sont utilisés comme agent extincteur, ce qui ne laisse pas de résidu lors de l'évaporation. Les systèmes d'extinction à gaz sont souvent utilisés lorsque l'eau n'est pas souhaitable comme agent extincteur ou lorsque les propriétés particulières d'un gaz sont plus appropriées. Les systèmes d'extinction d'incendie par noyage total utilisant des agents gazeux sont utilisés principalement pour protéger les risques qui se trouvent dans des enceintes fermées (pour préserver la concentration d'agent). Comme le gaz est tridimensionnel, les agents d'extinction gazeux sont très efficaces pour pénétrer dans tout l'espace à l'intérieur du risque.

Les systèmes d'extinction à gaz sont un moyen très efficace de protéger les risques critiques et les biens de grande valeur, lorsqu'il est important de ne pas avoir de dommages collatéraux causés par l'agent extincteur ou les résidus. Pour tout type de risque électrique (Data Center, salles informatiques, salles de contrôle, salles électriques, etc.) ou de biens ou de matériaux très sensibles/précieux (Art, Antiquités, Livres rares, etc.), ils sont souvent le premier choix. Un autre facteur est la sécurité des personnes, car bon nombre de ces applications sont occupées, de façon permanente ou occasionnelle. Ils sont adaptés à un noyage total et se composent essentiellement d'une source où le gaz est stocké

sous pression dans des conteneurs, et d'un système de tuyauterie par lequel il est transporté de la source aux points de décharge. À l'heure actuelle, des gaz inertes, du CO₂ et des agents extincteurs synthétiques (halocarbonés) sont utilisés pour les systèmes d'extinction à gaz.

Comme l'extinction est rapide, l'équipement peut être sauvé de dommages inutiles causés par l'incendie et la fumée (contient des produits de dégradation du combustible et potentiellement de l'agent extincteur), il y a très peu de nettoyage nécessaire après l'extinction. Comme ils ne sont pas électriquement conducteurs, ils sont sûrs dans ce contexte.

Pour tous les agents gazeux, les fuites de l'enceinte peuvent être compensées par une décharge prolongée. Cependant, un volume clos est nécessaire pour tout système de noyage total et une enceinte bien étanche est généralement préférée à toute forme de compensation de fuite.



REMARQUE: Pour tous les agents gazeux, les fuites de l'enceinte peuvent être compensées à l'aide d'une décharge prolongée. Cependant, un volume clos est nécessaire pour tout système de noyage total et une enceinte bien étanche est généralement préférée à toute forme de compensation de fuite

Des détails supplémentaires sur les caractéristiques des différents agents gazeux sont décrits dans les sous-chapitres suivants.

8.2.1 Systèmes à gaz inerte

Les systèmes d'extinction à gaz inerte utilisent des gaz inertes naturels tels que l'azote, l'argon et/ou un mélange de gaz inertes, y compris un mélange contenant du CO₂. Ils éteignent le feu en réduisant la concentration d'oxygène dans l'enceinte, et ils peuvent être utilisés pour les risques de classes A, B et C.

Les gaz inertes ne laissent aucun résidu ni sous-produit lorsqu'ils sont exposés au feu. Les gaz inertes ont un PRG (potentiel de réchauffement global) nul, un PDO (potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone) nul et peuvent être utilisés sans danger dans les zones occupées.

Les agents gazeux inertes ont une densité similaire à celle de l'air et sont moins sensibles aux fuites de l'enceinte protégée. Cependant, comme ils sont stockés sous forme de gaz sous pression, le nombre de récipients utilisés dans un système peut être supérieur à celui des systèmes à gaz halocarbonés. Le stockage haute pression est très utile pour permettre au concepteur de localiser les récipients à une distance importante de l'enceinte protégée.

Efficacité :

- Potentiel de ralentir l'emballement thermique en éteignant l'électrolyte
- Prévention des atmosphères explosives dans l'enceinte
- Distribution rapide de l'agent dans le risque
- Capacité d'éteindre les incendies dans les équipements électriques à proximité
- Capacité d'éteindre les incendies impliquant des électrolytes
- Permet des temps de maintien plus longs, lorsque l'enceinte est bien étanche
- Permet des temps de maintien plus longs dans des enceintes non étanches, par décharge prolongée

8.2.2 Systèmes halocarbonés

Les systèmes d'extinction à gaz halocarbonés utilisent une gamme d'agents extincteurs synthétiques. Ils éteignent le feu principalement par absorption de chaleur. Ils conviennent aux risques d'incendie de classes A, B et C.

La décharge de gaz halocarbonés peut être utilisée en toute sécurité dans les zones occupées et son potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (ODP) est nul. Les agents halocarbonés couramment utilisés ont un PRG (Potentiel de Réchauffement Global) compris entre 1 et 3500.

Les agents halocarbonés sont stockés sous forme liquide, utilisent des concentrations d'extinction relativement faibles et, en tant que tels, ont besoin d'une capacité de stockage d'agent nettement inférieure. En général, les contenants doivent être situés plus près de la zone protégée qu'avec des systèmes à gaz inerte, mais des systèmes à pression plus élevée peuvent répondre à certaines de ces limites.

- Efficacité :
- Potentiel de ralentir l'emballement thermique en éteignant l'électrolyte
 - Capacité d'éteindre rapidement les incendies
 - Prévention des atmosphères explosives dans l'enceinte
 - Distribution rapide de l'agent dans le risque (10s)
 - Capacité d'éteindre les incendies dans les équipements électriques proches
 - Capacité d'éteindre les incendies impliquant des électrolytes
 - Permet de multiples décharges

8.2.3 Systèmes à dioxyde de carbone

Les systèmes d'extinction au dioxyde de carbone utilisent du dioxyde de carbone (CO₂), un gaz incolore, inodore et non conducteur de l'électricité. Il est très efficace en tant qu'agent extincteur principalement en déplaçant l'oxygène avec aussi un certain effet refroidissant.

Le dioxyde de carbone gazeux a un taux de dilatation élevé, ce qui permet aux systèmes de lutte contre l'incendie au CO₂ de fonctionner rapidement. Étant donné que le dioxyde de carbone est un gaz, il n'est pas nécessaire de procéder à un nettoyage à la suite de la décharge d'un système d'extinction au CO₂.

Le CO₂ est stocké sous forme liquide, comme les halocarbones, mais utilise des concentrations nominales significativement plus élevées et n'atteint donc pas les mêmes rendements de stockage.

Bien que les systèmes d'extinction au CO₂ soient très efficaces pour éteindre les incendies, l'agent CO₂ présente également un **risque mortel** pour les personnes se trouvant dans la zone d'exposition, à des concentrations beaucoup plus faibles que celles nécessaires pour l'extinction. C'est pourquoi les systèmes d'extinction au CO₂ ne devraient être utilisés que dans des locaux non occupés.

- Efficacité :
- Potentiel de ralentir l'emballement thermique en éteignant l'électrolyte
 - Prévention des atmosphères explosives dans l'enceinte
 - Capacité d'éteindre les incendies dans les équipements électriques à proximité
 - Capacité d'éteindre les incendies impliquant des électrolytes
 - Permet des temps de maintien plus longs dans les enceintes non étanches, par décharge prolongée

8.3 Systèmes à base de mousse et d'eau

La mousse et les agents à base d'eau utilisent des additifs mixés à l'eau. Les mousses sont généralement formulées pour couvrir et étouffer les incendies de liquides inflammables.

Ils comprennent les mousses de classe B standard, les mousses de classe A et les agents mouillants.



REMARQUE: L'utilisation de mousses anti-incendie fluorées sera restreinte à l'avenir, il est donc conseillé d'en tenir compte dans le choix de l'agent.

8.3.1 Mousses de classe B standard

Les mousses de classe B sont basées sur des produits chimiques fluorés ou exempts de fluor et sont divisées en trois classes se distinguant sur la base du volume d'air :

⇒ **Systèmes de mousse bas foisonnement (rapport d'expansion de la mousse < 20)**

le bas foisonnement est couramment utilisé sur les grands incendies d'hydrocarbures tels que dans les réservoirs de stockage, les raffineries, les aéroports et les navires.

⇒ **Systèmes de mousse à moyen foisonnement (rapport d'expansion de la mousse ≥ 20 à < 200)**

Les systèmes de mousse à moyen foisonnement sont destinés à fournir une protection, à l'intérieur ou à l'extérieur, contre les nappes de liquides inflammables où la mousse peut être appliquée doucement près du risque, pour former rapidement une couche et permettre une bonne isolation des vapeurs.

⇒ **Systèmes de mousse à haut foisonnement (rapport d'expansion de la mousse ≥ 200)**

Les systèmes de mousse à haut foisonnement déversent de la mousse à partir d'un certain nombre de générateurs de mousse à haut foisonnement pour remplir le volume à l'intérieur duquel des incendies (de classe

A ou de classe B) peuvent exister à divers niveaux. Ils sont adaptés pour les grands volumes, les galeries de câbles, les locaux frigorifiques, les sous-sols, etc. Bien qu'elle soit principalement adaptée à une utilisation en intérieur, la mousse à haut foisonnement peut être utilisée dans les espaces extérieurs, à l'abri des effets du vent.

8.3.2 Mousses de classe A

Les mousses de classe A sont spécifiquement formulées pour combattre les incendies contenant des matériaux de classe A. Les applications typiques incluent les feux de forêt, les feux de déchets.

8.3.3 Agents mouillants / Dispersion aqueuse

Les agents mouillants réduisent sensiblement la tension superficielle de l'eau et augmentent sa capacité de pénétration et d'étalement. De même que pour les mousses de classe A, les applications typiques incluent les feux de forêt et les incendies de déchets. La majorité des agents mouillants utilisent des matériaux naturels à base de plantes et rien de plus que la considération environnementale des mousses fluorées ne doit être prise en compte lors de l'utilisation d'un tel système.

Les dispersions aqueuses peuvent comprendre une dispersion aqueuse de vermiculite chimiquement exfoliée qui est appliquée sous forme de pulvérisation. La vermiculite est le nom donné à un groupe de silicates laminaires hydratés d'aluminium-fer-magnésium.

L'exfoliation chimique de la vermiculite produit des plaquettes microscopiques qui sont librement en suspension dans l'eau, ce qui donne une dispersion aqueuse stable de vermiculite. Des particules de vermiculite se déposent à la surface de la matière en combustion, créant un film sur la surface. Le film sèche instantanément et les plaquettes de vermiculite se chevauchent et se lient. Cela forme une barrière physique ininflammable à l'oxygène entre la source d'incendie et l'atmosphère. Ce processus peut avoir un effet refroidissant sur le feu.

Les agents mouillants/agents aqueux peuvent être utilisés dans les installations fixes, les extincteurs portatifs et les extincteurs sur roue.

Efficacité : dépend de la méthode d'application et des types d'incendie

8.4 Systèmes à poudre

Les systèmes à poudre sont très efficaces pour l'extinction des incendies. Lorsqu'elles sont diffusées, les poudres agissent comme un fluide à deux phases, un solide en suspension dans un gaz, ce qui leur permet d'être très efficaces lorsque des obstacles sont présents et de ne pas subir d'impact significatif sur les performances dus à des zones cachées, comme c'est le cas pour certains autres types d'agents. Les poudres peuvent être utilisées dans des espaces ouverts ainsi que dans des enceintes fermées.

Le principal mécanisme par lequel la plupart des poudres éteignent les feux est l'inhibition de la réaction chimique en chaîne. Les agents extincteurs poudre sont généralement non toxiques.

Il existe différents types d'agents pulvérulents, chacun offrant différents niveaux de capacités d'extinction.

Efficacité :

- Distribution rapide de l'agent dans la zone à risque
- Les volumes protégés n'ont pas besoin d'être fermés pour contenir l'agent
- Capacité à ralentir la propagation de l'emballement thermique vers les cellules voisines
- Capacité d'éteindre les incendies dans l'équipement électrique à proximité
- Capacité à éteindre rapidement les incendies

8.5 Systèmes d'extinction à aérosols

Les systèmes à aérosols utilisent un équipement de contrôle et de surveillance similaire aux systèmes d'extinction à gaz. Ils noient également la pièce d'un agent extincteur, mais contrairement aux systèmes d'extinction à gaz, les systèmes à aérosol sont constitués d'un composé en bloc solide stocké dans un récipient (ou générateur) non pressurisé, qui est installé directement dans la zone protégée.

L'aérosol est constitué de particules solides de taille micro ou nanométrique en suspension dans une autre substance telle que du gaz sans être dissoutes dans le gaz. L'incendie est éteint en inhibant la réaction chimique en chaîne qu'est un feu.

Bien que les systèmes à aérosols soient très efficaces pour éteindre les incendies, l'agent peut présenter un risque pour la santé des personnes se trouvant dans la zone d'exposition. Par conséquent, dans les zones occupées, la conception du système devrait intégrer les précautions de sécurité mentionnées dans les normes. La détermination de l'utilisation d'un agent dans des espaces normalement occupés, normalement inoccupés ou inoccupables doit être fondée sur une évaluation des effets nocifs.

Étant donné que la composition des systèmes d'extinction par aérosol peut différer considérablement, leur aptitude à éteindre les incendies de batteries au lithium-ion devrait être testée et prouvée au cas par cas.

Efficacité :

- Pas d'effet de refroidissement
- Possibilité de ralentir l'emballement thermique en éteignant un incendie impliquant l'électrolyte
- Capacité d'éteindre les incendies rapidement
- Distribution rapide de l'agent dans le risque
- Capacité d'éteindre les incendies impliquant des électrolytes
- Capacité d'éteindre les incendies dans l'équipement électrique à proximité
- Permet des temps de maintien plus longs dans des enceintes non étanches
- Prévention des atmosphères explosives dans l'enceinte

8.6 Systèmes de réduction d'oxygène

Les systèmes de réduction d'oxygène sont typiquement conçus pour délivrer soit de l'azote pur, soit de l'air avec une concentration d'azote augmentée, dans une enceinte protégée afin de maintenir une concentration en oxygène comprise entre 13 % et 16 %. Lorsque la concentration en oxygène est réduite à environ 13 %, les conditions sont similaires à l'atmosphère créée après la décharge d'azote par un système destiné à éteindre les feux de surface.

Un environnement maintenu en permanence au niveau d'oxygène approprié empêche le développement du feu dans les matériaux qui provoquent des incendies de classe A. Des concentrations plus faibles pourraient être nécessaires pour certains matériaux, en particulier s'il existe un risque de combustion profonde (des concentrations beaucoup plus faibles sont normalement nécessaires pour éteindre de tels incendies) et pour les combustibles qui provoquent des incendies de classe B.

Bien que le feu soit susceptible d'être éteint dans ces circonstances, la présence d'une source de chaleur donne toujours lieu à une pyrolyse. Il convient de tenir compte du risque de combustion incomplète dans des conditions de faible teneur en oxygène et/ou de production de produits de combustion incomplète.

La conception des systèmes de réduction d'oxygène devrait être déterminée par des essais au feu, mais, à ce jour, des données d'essai spécifiques n'ont pas été publiées en ce qui concerne les incendies de batteries au lithium-ion. Les systèmes de réduction d'oxygène peuvent empêcher l'inflammation, mais cela peut conduire à des vapeurs toxiques et inflammables en excès quittant l'enceinte, qui doivent ensuite être traitées. Par conséquent, les systèmes de réduction d'oxygène ne devraient être utilisés pour la protection des batteries au lithium-ion que lorsque des essais spécifiques ont eu lieu préalablement.

Efficacité : Diminue le risque d'incendie dû à une atmosphère inflammable après le rejet de effluents gazeux

8.7 Extincteurs portatifs

Les extincteurs portatifs ne doivent être utilisés que sur de petits appareils portatifs rechargeables et d'autres produits électroniques couramment utilisés (tels que les ordinateurs portables, les téléphones portables, les e-cigarettes, les outils électriques, etc.) contenant des batteries au lithium-ion qui ont été déconnectées du secteur. L'extinction complète peut ne pas être possible, mais l'utilisation d'un extincteur à eau ou d'un extincteur à base d'eau à proximité

devrait empêcher le feu de se propager à d'autres matériaux à proximité, pendant que l'alerte est déclenchée.

Il existe plusieurs types d'agents utilisés à l'intérieur des extincteurs portatifs (à base d'eau, de CO₂, de poudre, etc.), mais les agents à base d'eau sont les seuls à être applicables aux incendies de batteries au lithium-ion.

ne pas utiliser d'extincteurs portatifs pour la haute tension ou pour les batteries de plus grande capacité (comme dans les véhicules électriques, hybrides rechargeables ou les systèmes de stockage d'énergie).

9 CONCEPTION DE SOLUTIONS DE DETECTION ET D'EXTINCTION D'INCENDIE DANS DIFFÉRENTS ESPACES

9.1 Principes de conception

Chaque application de protection contre l'incendie nécessite une solution spécifique, basée sur l'utilisation de systèmes approuvés⁶, car il n'existe pas de concept de protection qui convienne uniformément à toutes les applications.

Avant de choisir le concept optimal, il convient de prendre en considération les objectifs des mesures, le concept de protection et les effets secondaires possibles des technologies utilisées. Outre les options techniques disponibles sur le marché (voir chapitres 6 et 7), il convient de tenir compte de l'ensemble de l'environnement de la demande.

Le concept devrait prévoir une approche globale qui devrait inclure la prise en compte des éléments suivants :

- Évaluation des risques
- Objectifs et cibles de protection
- Protection passive/préventive contre l'incendie
- Empêcher la propagation du feu aux batteries et aux zones adjacentes
- Système de gestion de la batterie (détection d'une défaillance de la batterie)
- Type de système de détection d'incendie/de fumée
- Système de détection des effluents gazeux
- Système d'inertage automatique
- Système d'extinction automatique
- Effets indésirables
- Ventilation / Extraction
- Système de libération de la surpression
- Normes applicables
- Réglementation nationale ou régionale des services d'incendie

9.2 Applications (Environnements des batteries au lithium-ion)

Dans le chapitre 3.1 de ce document, 5 types d'applications de batteries Lithium-Ion sont mentionnées :

- I. Dispositifs portables et autres produits électroniques couramment utilisés
- II. Petite Mobilité Electrique
- III. Système d'alimentation de secours ou onduleur
- IV. Mobilité électrique et automobile électrique
- V. Systèmes de Stockage d'Energie

Cette classification ne concerne que les capacités respectives des batteries et donc les différents risques d'incendie. Cependant, pour des informations sur l'applicabilité de certaines technologies de protection contre l'incendie, il faut considérer dans quels environnements se trouvent ces produits / systèmes équipés de batteries Lithium-Ion. Cela signifie que le produit / système respectif doit être considéré dans son environnement afin de pouvoir définir la solution optimale pour la protection contre l'incendie.

Dans ce qui suit, un certain nombre d'environnements actuellement connues sont décrits avec des détails sur le concept de détection et d'extinction :

⁶ Voir **Euralarm-Guidance sur le système approuvé par rapport aux composants approuvés** – disponible publiquement, voir : <https://euralarm.org/euralarm-publications/public-guidelines/guidance-on-garby-systems-approved-systems-versus-approved-components>

9.2.1 Batteries dans les transports en commun

Il s'agit de cas d'utilisation dans lesquels des appareils portables et d'autres biens électroniques d'usage courant, ainsi que de petits véhicules de mobilité électrique (scooters, etc.), équipés de batteries Lithium-Ion, sont transportés dans les transports publics (bus, train, avion, bateau, etc.) ; il s'agit également de véhicules de transport public hybrides et entièrement électriques.

Il y a un nombre croissant d'autobus hybrides et entièrement électriques utilisés dans les transports publics pour atteindre les objectifs environnementaux. La norme UNECE R107, tout en prévoyant une exigence pour les systèmes d'extinction des véhicules, ne traite pas spécifiquement des incendies de batteries. En outre, les éléments de la batterie sont généralement enfermés dans des blocs-batteries scellés, ce qui peut rendre impossible l'application directe de l'agent extincteur sur les éléments.

De même, pour atteindre les objectifs de l'OMI en matière d'émissions, les navires et bateaux hybrides et entièrement électriques deviennent de plus en plus courants. Il y a un pétrolier de 62 mètres, 453 tonnes en cours de construction au Japon qui sera entièrement alimenté par 2 1740 kWh batterie Lithium-ion ESS. Un certain nombre de transbordeurs de passagers en Scandinavie sont également entièrement alimentés par batterie, allant de 20 m avec 70 passagers et une capacité de 180-400 kWh à 140+m avec une capacité de 1000 kWh. Avec ce passage à l'énergie électrique, en 2017, RISE, l'institut d'essai suédois a publié un rapport sur la propulsion par batterie en mer⁷, qui examine les défis de la protection contre l'incendie. En plus de la propulsion, les navires peuvent également avoir leur propre Système de Stockage d'Énergie pour fournir de l'énergie électrique, ce qui ajoute un risque supplémentaire. Dans l'aviation, Airbus, Boeing et d'autres travaillent sur des projets d'avions entièrement électriques.

Dans toutes les applications ci-dessus, l'équipage et les passagers embarqueront également leurs propres petits appareils alimentés par batterie.

Les défis en matière de protection contre l'incendie dans ces applications sont variés et comprennent la protection de l'alimentation électrique ainsi que des dispositifs amenés sur les véhicules. Mesures à prendre en considération par les fournisseurs/propriétaires de transports publics, en tenant compte de tous les points mentionnés au chapitre 9.1.

Prévoir un compartimentage approprié autour des blocs-batteries pour limiter la propagation de tout incendie, c'est probablement beaucoup plus simple dans les applications marines. Systèmes de gestion de batterie appropriés liés aux systèmes de détection d'incendie et de gaz pour permettre une détection rapide afin de permettre l'activation des systèmes de protection contre l'incendie et l'évacuation des passagers, le cas échéant.

Les applications de noyage total telles que l'extinction à gaz et les systèmes à base d'eau sont des solutions logiques dans les applications marines avec le compartimentage sur place. De petits systèmes fixes conformes à la norme CEE-ONU R107 sont déjà en place sur la plupart des autobus et véhicules connexes, bien qu'il faille peut-être revoir les densités de conception. Les systèmes embarqués devront tenir compte de la masse.

Pour les petits dispositifs, transportés à bord par les passagers, la fourniture d'extincteurs portatifs ainsi que le confinement devraient être envisagés. En outre, certaines compagnies aériennes limitent les dispositifs qui peuvent être transportés dans la soute et dans la cabine et tous les aéronefs transportent maintenant un ou plusieurs sacs dans lesquels placer tout petit dispositif qui commence à montrer des signes d'emballage thermique.

9.2.2 Applications résidentielles (ESS en lien avec Photovoltaïque + Garages avec VE)

Les systèmes de stockage d'énergie résidentiels, également appelés Powerpacks, servent principalement à la sauvegarde de l'alimentation lorsque le réseau tombe en panne. Ils complètent également les systèmes d'énergie renouvelable, tels que l'énergie solaire, permettant une utilisation de l'énergie lorsque la source naturelle n'est pas disponible. Dans le même temps, ils offrent la possibilité d'absorber les pics et de niveler les pointes de besoin de puissance électrique avec des avantages étendus aux utilisateurs finaux ainsi qu'aux entreprises de services publics. La croissance de la production d'énergie renouvelable ainsi que le nombre croissant de véhicules électriques sont des facteurs qui contribuent aux taux de croissance à deux chiffres du marché du stockage d'énergie résidentiel.

⁷ Introduction sûre de la propulsion par batterie en mer - Petra Andersson, Johan Wikman, Magnus Arvidson, Fredrik Larsson, Ola Willstrand SP Rapport 2017:34

Risque:

La petite échelle de ces systèmes peut suggérer que le risque d'emballement thermique et éventuellement d'incendie est mineur. Toutefois, il existe des exemples publics sur des dizaines de milliers de systèmes résidentiels de stockage de l'énergie qui ont été rappelés en raison de risques d'incendie potentiels. Les recensements font référence à des systèmes en surchauffe, dégageant des fumées et déclenchant des incendies. Par ailleurs, en raison de leur grand nombre et de leur installation dans des garages et des lieux où la sécurité incendie n'est parfois pas une priorité, le risque de propagation d'un incendie dans la pièce et le reste du bâtiment est considérable.

Le risque est lié à la production et à l'émission de gaz à partir de l'électrolyte de la batterie. C'est un double risque. D'une part, les gaz sont très inflammables et, d'autre part, selon la chimie des batteries, les gaz émis peuvent être toxiques, contenant par exemple du fluorure d'hydrogène qui peut être dangereux pour la vie et la santé, même en faibles concentrations.

Protection contre l'incendie:

La taille de cette application (armoires de petite taille), le fait qu'il n'existe aucune réglementation de sécurité la régissant et enfin ses utilisateurs étant des ménages et des individus sans antécédents de sécurité incendie, augmentent le défi de la gestion des risques associés.

Les bonnes pratiques préventives sont entre autres :

- d'éviter d'avoir des matériaux combustibles à proximité immédiate du système de stockage d'énergie
- de positionner le système de stockage d'énergie à l'extérieur ou à proximité d'ouvertures, pour permettre la dispersion des gaz inflammables / toxiques

Ce qui précède peut être communiqué par les autorités, les services publics, les compagnies d'assurance ainsi que les fabricants et les fournisseurs des systèmes.

Les solutions de protection incendie pertinentes pour cette application sont celles qui sont autonomes, installées à l'intérieur du système de stockage d'énergie. Elles doivent intégrer la détection et l'extinction, être résilientes et avoir des exigences de maintenance minimales.

Au contraire, il n'est pas pratique de mettre en œuvre des solutions techniques complexes et exigeantes en matière de maintenance, que ce soit pour la détection des gaz d'échappement, la détection des incendies ou l'extinction des incendies.

9.2.3 Mobilité électrique

9.2.3.1 Évaluation des risques

Les véhicules électriques font désormais partie intégrante de notre paysage urbain et doivent également être garés et rechargés. La sécurité incendie des parkings intérieurs et souterrains avec une capacité de véhicules électriques, ainsi que la sécurité des bornes de recharge, est donc une question d'actualité.

Exemple: Grave incendie et explosion de voiture électrique à une station de recharge – regardez-le sur Youtube : <https://insideevs.com/news/423581/severe-electric-car-fire-explosion-charging/>

Lors de l'évaluation des risques dans les applications/infrastructures avec des véhicules électriques, il faut en tenir compte ;

- Les voitures électriques sont les plus exposées au risque d'incendie lors du stationnement et de la recharge⁸ (voir les résultats du projet ALBERO :
> 50 % de tous les accidents d'incendie avec des voitures électriques se sont produits pendant la recharge ou pendant le stationnement)
- Le risque d'incendie sur un véhicule électrique n'est pas supérieur au risque d'incendie sur un véhicule à essence ou diesel. En fait, il semble que ce soit moins. Cependant, les feux de batterie sont plus difficiles à éteindre. C'est

⁸ **ALBERO** (Transport de véhicules à propulsion alternative sur des transbordeurs roulants) – Projet coordonné par l'Institute for Safety Technology/Ship Safety - 18119 Rostock-Warnemünde, Allemagne – parrainé par l'Allemagne Ministère fédéral de l'éducation et de la recherche – Détails voir : <https://alberoprojekt.de>

un fait, qu'un incendie dans les véhicules électriques peut se propager beaucoup plus rapidement et est beaucoup plus difficile à contrôler.

- Dans le cas d'une voiture électrique en feu, il n'est pas possible d'éteindre l'incendie rapidement. Un plancher en béton armé peut résister à la chaleur pendant un certain temps, mais si trop de chaleur est appliquée, le béton peut éclater et le fer fond, ce qui peut entraîner un effondrement.
- En raison des matériaux réactifs et parfois très toxiques, les incendies de batteries dans des pièces fermées ou des infrastructures souterraines présentent également des dangers chimiques. Les polluants rejetés peuvent se concentrer dans l'air en raison d'une ventilation limitée et dépasser les valeurs seuil critiques pour les personnes plus rapidement que dans l'air libre, où les gaz de fumée sont plus dilués. Les possibilités d'évacuation ou de sauvetage dans ces locaux rendent la situation encore plus difficile.

Les objectifs de protection contre les incendies découlant de cette évaluation des risques mènent finalement à prioriser la protection du bâtiment et des personnes. La protection d'un véhicule électrique en feu est moins prioritaire tant qu'aucune mesure n'est déjà intégrée dans une telle voiture.

Enfin, la protection contre l'incendie doit se concentrer sur la prévention de la propagation de l'incendie aux batteries et aux zones adjacentes, et doit rechercher des mesures de protection contre l'incendie passives/préventives.

9.2.3.2 Protection passive/préventive contre l'incendie - Empêcher la propagation du feu aux batteries et aux zones adjacentes

a) Mesures **architecturales**:

- ajouter une protection supplémentaire à la structure du bâtiment près des places de stationnement avec chargeurs.
- Equiper les stations de recharge d'une protection contre les collisions, ou les positionner à un endroit où les collisions ne sont pas possibles.
- prêter attention à la façon dont un véhicule électrique peut être déplacé vers une zone extérieure après l'extinction d'un incendie, par exemple pour le refroidir dans un réservoir d'eau.

b) Mesures **d'installation**

- Installation des moyens permettant d'interrompre le courant vers tous les chargeurs au moyen d'une seule action des personnes présentes.
- Prise en compte, au cours du processus de conception, de l'emplacement des places de stationnement pour les véhicules électriques et des stations/installations de recharge par rapport aux ouvertures de ventilation et aux voies d'évacuation.
- l'utilisation d'une ventilation par déplacement/évacuation des fumées et de la chaleur peut aider à augmenter la probabilité d'une action réussie.
- Conduits d'échappement positionnés pour minimiser la probabilité que toute nuisance à l'environnement soit causée par des produits de combustion s'échappant du parking intérieur.

c) Mesures **organisationnelles**

- idéalement, les voitures électriques devraient être garées dans des espaces de stationnement individuels à l'épreuve du feu. En cas d'incendie, ces zones séparées pourraient alors être noyées rapidement et de manière ciblée avec des systèmes de noyage total.
- la séparation structurelle contribuerait également à minimiser la fumée dans le parking souterrain en cas d'incendie, car il s'agit d'un danger important pour les personnes, en plus de l'incendie en temps que tel.
- instructions pour l'utilisation du parking couvert et de ses installations de chargement (y compris l'entretien) et information des conducteurs sur ce qu'il faut faire en cas d'incendie et sur la manière de traiter les messages d'erreur du système de gestion de la batterie (BMS).
- possibilité de ne pas charger et/ou stationner de véhicules électriques dans le parking couvert. Il faudrait déterminer s'il est judicieux d'offrir des possibilités de recharge dans les garages souterrains.

9.2.3.3 Type de système de détection d'incendie/de fumée

Il va sans dire qu'un incendie naissant dans un véhicule électrique serait le plus susceptible d'être reconnu par des systèmes de surveillance / détection et de signalement appropriés intégrés dans la voiture. Toutefois, comme cela n'a pas encore été prescrit par la loi, on ne peut pas supposer qu'il soit fondamentalement disponible.

Les méthodes de détection à recommander ici incluent donc toutes les méthodes de détection de fumée et d'incendie mentionnées dans les bâtiments respectifs par les réglementations nationales.

Habituellement, aucun système de détection n'est disponible pour les véhicules électriques stationnés à l'extérieur, à moins que certains ne soient intégrés dans des stations de recharge, des boîtiers muraux, etc.

9.2.3.4 Systèmes/agents d'extinction

Dans les parkings souterrains, l'objectif serait d'éteindre l'incendie et de limiter la propagation de l'incendie aux autres véhicules et à la structure du bâtiment. À l'heure actuelle, rien ne prouve que les systèmes fixes peuvent avoir un impact sur le refroidissement de la batterie du véhicule.

L'agent doit être sélectionné en tenant compte de l'impact du compartimentage, de la lutte contre la fumée, du ruissellement de l'agent, de la contamination possible des sources d'eau locales et de l'impact sur les personnes qui peuvent ou non être présentes.

9.2.4 **Entrepôts (Entreposage de batteries ou de marchandises équipées de batteries)**

Le stockage des batteries dans les entrepôts peut se faire dans les 3 contextes suivants :

1. Marchandises stockées intégrant des batteries
2. Stockage des batteries
3. Présence d'équipements utilisant des batteries tels que des chariots élévateurs

9.2.4.1 Mesures de sécurité

Une attention particulière doit être accordée à la sécurité des employés, car l'incendie produira une forte densité de fumée et se propagera en raison de la combustion des gaz s'échappant des batteries. Une évacuation rapide est nécessaire.

Il convient de sensibiliser les personnes intervenant sur l'incendie au risque de projection.

9.2.4.2 Marchandises stockées intégrant des batteries

Ces marchandises peuvent être de types et de tailles très différentes : ordinateurs, téléphones portables, outils portatifs, vélos électriques, ...

D'une manière générale, le niveau de charge de la batterie du bien stocké est typiquement faible (<50 %), mais supérieur à 10 % dans tous les cas. Par conséquent, il y a un risque d'incendie de la batterie. En outre, l'appareil est éteint dans son boîtier de sorte que le système de gestion de la batterie (BMS) est également éteint.

Les marchandises sont généralement stockées à l'intérieur d'un emballage en carton et en plastique. À partir d'un emballage thermique de la batterie, le développement du feu est comparable aux incendies d'entrepôts habituels car il se propagera au travers des emballages.

Les mesures visant à prévenir la propagation d'un incendie peuvent être de plusieurs types :

- Solution passive : stocker des marchandises avec des séparations régulières entre les racks
- Solutions préventives : abaisser le niveau de charge de la batterie à sa valeur minimale acceptable
- Système de détection d'incendie : les systèmes de détection de fumée sont les plus adaptés dans cet environnement
- Solutions de lutte automatique contre l'incendie : une conception dérivée des règles standard de protection contre l'incendie dans les entrepôts, en particulier à l'aide de systèmes sprinkler, devrait être préférée. Toutefois, l'objectif de protection doit être la non propagation car la présence de batteries rend difficile l'extinction complète de l'incendie.
- Les systèmes de ventilation / extraction doivent être conçus et installés conformément aux réglementations nationales.

9.2.4.3 Stockage des batteries

Les batteries peuvent être de types et de tailles très différents selon leurs applications.

D'une manière générale, le niveau de charge de la batterie est typiquement faible (<50 %), mais supérieur à 10 % dans tous les cas. Par conséquent, il y a un risque d'incendie de la batterie. En outre, il n'y a pas de système BMS dans la batterie elle-même. Le niveau de risque dépend de la taille et de la puissance des batteries.

De plus, le risque de propagation du feu de batterie est directement lié à la densité de stockage. Comme il n'y a pas d'emballage ou seulement un emballage léger, les radiations thermiques peuvent générer un effet domino rapide.

Les mesures visant à prévenir la propagation d'un incendie peuvent être de plusieurs types :

- Solution passive : diminuer la densité de stockage et stocker les batteries avec des séparations régulières entre les racks
- Solutions préventives : abaisser le niveau de charge de la batterie à sa valeur minimale acceptable
- Système de détection d'incendie : les systèmes de détection de fumée sont les plus adaptés dans cet environnement
- Solutions de lutte automatique contre l'incendie : l'objectif de protection doit être la non propagation, à l'aide de systèmes sprinkler ou de brouillard d'eau.
- Les systèmes de ventilation / extraction doivent être conçus et installés conformément aux réglementations nationales.

9.2.4.4 Présence d'équipements utilisant des batteries tels que des chariots élévateurs

Un incendie de chariot élévateur peut survenir dans les situations suivantes :

- Le chariot est utilisé par un employé lorsque l'incendie commence : les conducteurs doivent être formés pour garer le camion dans une zone identifiée où le risque de propagation est limité. Ensuite, une intervention manuelle peut être effectuée.
- La batterie du chariot est en cours de charge dans une station de charge. Cette situation se produit surtout en dehors des heures de travail de sorte que personne n'est présent. En outre, dans les grands entrepôts, plusieurs chariots sont chargés en même temps dans la même zone.

Dans les deux cas, le système BMS fonctionne et diminue le risque. Toutefois, cette seconde situation génère un risque beaucoup plus élevé et nécessite des systèmes automatiques de prévention et de protection.

Les mesures visant à prévenir la propagation d'un incendie peuvent être de plusieurs types :

- Solution passive : installer des séparations physiques entre les bornes de recharge électrique des camions ou disposer d'un espace suffisant entre les bornes de recharge
- Solutions préventives : ne pas laisser les chariots en état de charge pendant une longue période, en particulier pendant les week-ends
- Système de détection d'incendie : un système de détection des dégagements gazeux sera la technologie de détection la plus précoce dans cet environnement
- Solutions de lutte automatique contre l'incendie : l'objectif de protection doit être la non propagation d'un chariot à un autre ou d'un chariot à son environnement. Dans ce cas, des systèmes de brouillard d'eau et des systèmes à base d'eau couvrant les zones des stations de recharge électrique sont appropriés.
- Les systèmes de ventilation / extraction doivent être conçus et installés conformément aux réglementations nationales.

9.2.5 Systèmes de Stockage d'Energie (SSE)

9.2.5.1 Cibles de protection

Le point de départ de la conception de tout système de protection contre l'incendie est toujours l'objectif de protection à atteindre. Il s'ensuit directement : des objectifs de protection différents conduisent à des concepts de protection différents et, en fin de compte, à des solutions différentes.

Dans le cadre de l'analyse des risques individuels, des mesures appropriées doivent être définies afin de trouver un concept de protection approprié. Les mesures visant à atteindre les objectifs de protection des personnes et des biens et de protection contre les interruptions d'activité peuvent différer.

Sous une forme simplifiée, les objectifs de protection décrivent l'étendue maximale des dommages qui peuvent survenir en cas d'incendie. L'objectif minimal de protection est généralement fixé par les autorités responsables de l'installation et de l'exploitation, et est généralement complété par les objectifs de protection du gestionnaire de réseau.

- Ampleur acceptable des dommages ;
- Protection de l'installation elle-même ;
- Protection de l'environnement;
- Assurer un retour en service rapide.

D'une manière générale, les codes et règlements de construction pertinents introduits en vertu du droit de la construction doivent être respectés. Toutes les installations structurelles doivent être considérées au cas par cas. Dans tous les cas, le permis de construire correspondant, y compris le concept/la preuve de protection contre l'incendie, doit être respecté. Le propriétaire ou l'exploitant du bâtiment est responsable de s'assurer que les conditions du permis de construire sont respectées.

Les mesures de protection individuelle, de disponibilité, de protection des biens matériels et de protection de l'environnement dépendent du niveau de risque déterminé dans chaque cas

Scénarios typiques et cibles de niveau de protection :

Niveau 1 : Incendie de l'extérieur sur le stockage de la batterie (événement d'incendie externe à l'extérieur de l'ESS).

Objectif de protection: S'assurer qu'un incendie ne peut pas se propager à l'installation de stockage de batteries

Mesures possibles: séparation structurelle avec une résistance au feu suffisante, séparation spatiale ou systèmes d'extinction.

Niveau 2: Incendie dans la zone de l'électronique secondaire (électronique de puissance, climatiseur ...). L'incendie a lieu à l'extérieur du local des batteries, mais a une séparation coupe-feu adéquate du stockage des batteries lithium-ion.

Objectif de protection: Dans le cas d'incendies commençant à proximité de l'électronique secondaire ou des batteries lithium-ion, réduire l'effet de telle sorte que la propagation du feu à l'autre pièce est évité. Les systèmes de batteries, les modules et les cellules doivent être protégés contre les incendies externes (électriques).

Mesures possibles: Système d'alarme incendie avec système d'extinction automatique des risques électriques. L'agent extincteur doit assurer zéro résidu pour la protection de l'installation.

Niveau 3 : Impact du feu sur le stockage des batteries au lithium-ion (l'incendie a lieu dans le local batteries) dans le cas où une différenciation fiable entre un incendie des batteries au lithium-ion ou de l'électronique de puissance n'est pas donnée. En cas d'incendie naissant à proximité des batteries (par exemple, incendie dans l'électronique de puissance, etc.), réduire l'impact de manière à empêcher la propagation du feu aux batteries.

Mesures possibles: Système d'alarme incendie avec système d'extinction automatique des risques électriques. L'agent extincteur doit assurer zéro résidu pour la protection de l'installation.

Niveau 4 : Scénario : Incendie à l'intérieur du système de stockage des batteries au lithium-ion (incendie ou réaction thermique au "niveau de la cellule"). Objectif de protection: en cas d'emballement des cellules, empêcher la propagation aux cellules voisines ou l'emballement d'un module. Selon la configuration de la batterie, les incendies de cellules doivent être limités aux cellules individuelles ou aux modules affectés. Prévention de la propagation de l'emballement thermique au-delà des modules touchés et des incendies secondaires.

Mesures possibles: Système de détection d'incendie et de dégagement gazeux le plus précoce possible en combinaison avec un système d'extinction automatique pour l'extinction sans résidus des incendies électriques et la suppression dans la durée des incendies.

9.2.5.2 Évaluation des risques

En raison de l'ensemble des réglementations et spécifications normatives pour les essais à effectuer dans le cadre de la certification des éléments de batterie, on peut supposer que le système de stockage lui-même peut être classé comme « relativement » sûr. Par conséquent, il est tout d'abord nécessaire de protéger les systèmes de stockage contre un incendie externe afin d'éviter les processus de rupture des cellules déclenchés par la chaleur de combustion externe.

Risque d'incendie électrique

Tout d'abord, chaque stockage d'énergie par batteries lithium-ion pose un risque d'incendie électrique.

Les statistiques (GDV) montrent que dans environ 25% des cas, les incendies électriques sont la cause de pertes importantes et la cause principale des incendies dans les entreprises industrielles. À eux seuls, ces risques nécessitent à la fois une détection fiable et des systèmes d'extinction automatique pour un fonctionnement sûr. Les incendies électriques peuvent être détectés à un stade précoce et s'éteindre en toute sécurité avec des systèmes d'extinction automatique à gaz.

Risque d'incendie en cas d'emballement thermique

La conception interne, la densité d'énergie sans cesse croissante et le vieillissement de la batterie sont les causes du danger. Si les forces mécaniques externes sont exclues, un incendie causé par les éléments de batterie eux-mêmes est toujours dû à des dommages liés à l'âge du séparateur et à un court-circuit interne subséquent. L'élévation de température qui en résulte provoque l'évaporation de l'électrolyte (généralement très inflammable). En conséquence, la pression interne à l'intérieur de la cellule va s'accumuler jusqu'à ce que la vapeur d'électrolyte soit libérée initialement par l'intermédiaire d'une soupape de décharge ou par la fracture contrôlée de la coque. Sans contre-mesures, un mélange explosif gaz-air sera généré : seule une source d'inflammation est nécessaire et il en résultera une explosion. Si le chauffage n'est pas arrêté, un emballement thermique se produira.

9.2.5.3 Exemple de concept de protection contre l'incendie - Concept de protection pour répondre au niveau de sécurité 4

Un emballement thermique en cours doit être identifié le plus tôt possible par la détection d'un dégagement gazeux et une concentration adéquate de l'agent extincteur doit être déchargée avant que le séparateur du premier élément de batterie ne soit endommagé. Les premières informations sur le dégagement gazeux des éléments de la batterie doivent être utilisées par le système de gestion de la batterie pour effectuer des arrêts d'urgence, ce qui pourrait éventuellement arrêter le développement d'une fuite par surcharge.

Décharge / noyage précoce de l'agent extincteur pour :

- empêcher la formation de grandes quantités de mélanges électrolytes explosifs-oxygène,
- réduire l'étendue et la vitesse de réaction d'un premier emballement thermique,
- inhiber la propagation de tels emballements,
- prévenir la réinflammation et les incendies secondaires et au moyen d'un inertage durable.

Détection des incendies et des dégagements gazeux:

Des détecteurs sont nécessaires pour détecter de manière fiable les incendies électriques et les dégagements gazeux.

Extinction

Étant donné que les sources d'incendie peuvent être cachées ou couvertes, seuls les agents d'extinction par noyage total seront efficaces.

Le choix de l'agent extincteur doit tenir compte des éléments suivants :

- il ne doit pas causer de dommages aux biens
- s'il est utilisé dans des espaces occupés, il doit être sûr pour les personnes

Combinaison de détection incendie, système de gestion de batterie et extinction

La clé pour atteindre les objectifs de protection contre l'incendie formulés réside dans la combinaison de la détection d'incendie la plus précoce possible avec des détecteurs à haute performance et des systèmes d'extinction appropriés et la transmission de l'alarme au système de gestion de la batterie.

9.2.5.4 Preuve de l'efficacité

La preuve de l'efficacité doit être fournie par des essais réels d'incendie et d'extinction et doit être validée. La preuve de l'efficacité doit être basée sur l'objectif de protection ou le scénario correspondant et doit être effectuée par un organisme d'essai indépendant.

10 CONCLUSION

Les incidents impliquant des batteries au lithium-ion peuvent dégénérer en emballements thermiques importants et inarrêtables, si bien que des mesures soigneusement étudiées sont nécessaires pour faire face aux dangers qu'ils posent et aux options disponibles pour gérer ces risques.

On peut détecter des conditions de début et de précombustion dans des batteries lithium-ion en surveillant plusieurs phénomènes tels que les émissions d'un mélange de particules solides et liquides en suspension dans un gaz électrolytique et des températures anormales.

Les preuves ont montré que la clé d'une protection incendie réussie des batteries lithium-ion est la suppression/extinction de l'incendie, la réduction du transfert de chaleur d'une cellule à l'autre, puis le refroidissement des cellules adjacentes qui composent le bloc-batterie/module.

Le risque d'incendie peut subsister après le fonctionnement du système de protection contre l'incendie en raison des dommages probables aux cellules adjacentes causés par la défaillance initiale ; par conséquent, des mesures correctives peuvent être nécessaires pour empêcher une nouvelle escalade.

L'utilisation des batteries au lithium-ion est répandue et dans les applications utilisant des quantités de piles, grandes et petites. Pour cette raison, l'examen de toute mesure de protection contre l'incendie doit tenir compte des circonstances particulières et de la configuration du danger et de la question de savoir si des mesures de protection contre l'incendie ont été validées pour l'application particulière.

Dans tous les cas, une évaluation des risques est nécessaire pour déterminer la nature et l'étendue des risques potentiels d'incendie et les mesures de sécurité qui devraient être mises en place.

11 GESTION POST-INCENDIE

11.1 Batteries

Enfin, lorsqu'un incendie de batterie est éteint, un risque d'incendie important peut subsister, car les batteries impliquées dans l'incendie et affectées par celui-ci sont susceptibles d'être chaudes et de présenter un risque d'évacuation des gaz combustibles et toxiques et un risque de rallumage.

Il est donc nécessaire que les opérations de gestion post-incendie commencent dès que possible par un personnel convenablement équipé et formé. Cela peut inclure :

- Ventilation
- Extraction
- isolement
- surveillance anti-incendie (par exemple, en utilisant des caméras d'imagerie thermique pour surveiller la température)
- Récupération

Le niveau de gestion post-incendie de la batterie dépendra de la taille de la batterie pour les dispositifs à une seule cellule/poche une fois que l'incendie est éteint et le risque de nouveaux incendies est alors minimisé.

11.2 Effluents

Les effluents doivent être éliminés par une méthode respectueuse de l'environnement. La norme de conception et d'installation pour les divers systèmes de lutte contre l'incendie comprend des informations sur les dispositions relatives à l'après-décharge.

Les gaz toxiques humidifiés par des systèmes à base d'eau peuvent entraîner un ruissellement contaminé qui devra être confiné.

ANNEXES

1 TERMES, ABRÉVIATIONS ET DÉFINITIONS UTILISÉS DANS LE PRÉSENT DOCUMENT

Terme/Abréviation	Définition
Batterie	un récipient constitué d'une ou de plusieurs cellules, dans lequel l'énergie chimique est convertie en électricité et utilisée comme source d'énergie
BMS	Système de gestion de batterie - Système électronique qui gère une batterie rechargeable
Li-Ion Li-ion	Batterie lithium-ion - batterie rechargeable qui utilise des ions lithium comme composant principal de son électrolyte
ES	Stockage de l'énergie - Captage de l'énergie produite à un moment donné pour une utilisation ultérieure
ESS	Système de stockage d'énergie - ensemble de batteries utilisé pour stocker l'énergie
EV	Véhicule électrique - véhicules avec un ou plusieurs moteurs électriques pour la propulsion
GWP	Potentiel de réchauffement planétaire
IR	Infrarouge
LOAEL	Concentration minimale avec effet nocif observé - concentration minimale d'une substance qui entraîne une altération de la morphologie, de la fonction, de la capacité, de la croissance, du développement ou de la durée de vie d'un organisme cible qui se distingue des organismes normaux de la même espèce
µm	Micromètre
PHEV	Véhicules hybrides rechargeables - Véhicules hybrides qui sont rechargés via le réseau électrique
REEV	Véhicules électriques à autonomie étendue - Véhicules combinant un moteur électrique et un petit moteur à combustion
SEI	interface d'électrolyte solide - est une couche limite passive qui forme, dans des batteries lithium-ion, l'interface entre l'anode, qui est constituée de carbone, et l'électrolyte, qui est formé par les composés de l'électrolyte. La résistance interne de la batterie augmente en raison de la couche SEI.
SoC	État de charge - Niveau de charge d'une batterie électrique par rapport à sa capacité. Les unités de SoC sont des points de pourcentage (0% = vide ; 100% = plein).
Emballlement thermique	Réaction chimique exothermique générant plus de chaleur qu'elle n'est dissipée, Remarque : <i>caractérisé par une vitesse d'auto-échauffement de 10 °C/min ou plus.</i>
Propagation Thermique	Dans le cas où un emballlement thermique d'un seul élément de batterie se propage aux cellules voisines, il est appelé « propagation thermique ».
Tétraèdre de feu	éléments nécessaires pour entretenir un incendie - Combustible, chaleur, oxygène et réaction en chaîne chimique
Dégagement gazeux	évacuation des vapeurs d'électrolyte inflammable/ toxique.
Wh	Watt-heure
kWh	kilowatt-heure = 1.000 Watt-heures

2 TYPES D'INCENDIE/CLASSES DE FEU

Les classes de feu sont un système de catégorisation de l'incendie en fonction du type de matériau et de combustible à brûler. Ceci est utilisé pour déterminer le type d'agent extincteur qui peut être utilisé pour cette classe de feu.

Les lettres de classe sont souvent attribuées aux différents types d'incendie, mais elles diffèrent d'un territoire à l'autre. Il existe des normes distinctes pour l'Europe, les États-Unis et l'Australie.

Image	Description	Europe (EN 2)	United States	Australia
	Matières combustibles (bois, papier, tissu, déchets)	Classe A	Classe A	Classe A
	Liquides inflammables	Class B	Class B	Class B
	Gaz inflammables	Classe C	Class B	Classe C
	Métaux inflammables	Class D	Class D	Class D
	Incendie électrique	Non classé (anciennement classe E)	Classe C	Class E
	Huiles et graisses de cuisson	Classe F	Classe K	Classe F

Tableau 6: Classes d'incendie en Europe, aux États-Unis et en Australie

3 MATÉRIAUX ET INFORMATIONS UTILISÉS POUR LE PRÉSENT DOCUMENT

No.	Document
1.	Guidance on Li Ion Battery Fires prepared by the FIA Lithium-Ion battery SIG – published Jan 11th 2021 https://www.fia.uk.com/static/2a999c49-760b-47e3-b02f96a2ca89ecd9/Guidance-Documents-on-Li-Ion-Battery-Fires-12-20-v1.pdf
2.	Document BVES (version préliminaire) sur le SSE (actuellement non traduit de l'allemand)
3.	Les articles du projet SuVeRen, concernent l'adaptation des infrastructures souterraines (tunnels & parkings) aux véhicules verts. https://www.suveren-nec.info/
4.	Batteries au lithium - Risques d'incendie et de sécurité – Prévention efficace des pertes et lutte contre l'incendie - Papier de 2016 publié par les sociétés « Riskexperts » et « Batteryuniversity GmbH »
5.	SIEMENS White Paper "Fire protection for Lithium-Ion battery energy storage systems" Published May 2020 https://new.siemens.com/global/en/markets/data-centers/fire-safety/whitepaper-fire-protection-for-li-ion-battery-energy-storage-systems.html
6.	« Technical Reference for Lithium-Ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression » - Document de DNV GL https://www.dnv.com/Publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062
7.	RISE-report2020:30 : « Charging of electric cars in parking garages » Research Institutes of Sweden Are W. Brandt and Karin Glansberg Norway 2020 - ISBN :978-91-89167-12-4 https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2020/report-2020-30-charging-of-electric-cars-in-parking-garages.pdf
8.	SIEMENS Fire Safety Guide 2012 - Publié par : Siemens Switzerland Ltd Infrastructure & Cities - Sector Building Technologies Division International https://sid.siemens.com/v/u/A6V10308640
9.	Recherche menée par FM Global sur la protection sprinkleur du stockage des petites batteries dans les entrepôts et des grands systèmes de stockage d'énergie - https://www.fmglobal.com/insights-and-impacts/2020/energy-storage-systems
10.	Rapport des pompiers néerlandais sur la nécessité de sprinkleurs dans les parkings où se trouvent des véhicules électriques. https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:eef3e542-c2f9-4e2a-ae21-eae8fff1732a/datastream/OBJ/download
11.	Rapport d'un incendie dans un ESS aux États-Unis protégé par Novec qui a entraîné une explosion https://www.utilitydive.com/news/aps-says-runaway-thermal-event-caused-2019-battery-explosion-outlines-4-st/582475/
12.	Programme de développement conjoint DNVGL publié le 7 janvier 2020 https://www.dnvgl.com/news/new-dnv-gl-joint-industry-report-offers-recommendations-for-enhanced-battery-safety-on-vessels--164738
13.	Institut néerlandais pour la sécurité incendie (IFV) sur la sécurité incendie dans les parkings publié en décembre 2020. 20201208-IFV-Brandveiligheid-parkeergarages-met-elektrisch-aangedreven-voertuigen.pdf
14.	Directives de l'Institut néerlandais pour la sécurité incendie (IFV) pour les systèmes de stockage d'énergie >20 kWh (projet publié en février 2019) https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Nieuw-handreikingen-buurtbatterijen-en-opslag-lithium-ion-accus.aspx
15.	Rapport technique sur les incendies de batteries préparé par EFECTIS et pour le compte de FIEP (Fire Information Exchange Platform) - publié en mai 2020 - https://eufiresafety.community/news/401160
16.	DNV-GL « Technical Reference for Lithium-Ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression » 2019 https://www.dnv.com/publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062
17.	UK Gov MARINE GUIDANCE NOTE on use of battery power for vessels : MGN 550 (M+F) - Electrical Installations - Guidance for Safe Design, Installation and Operation of Lithium-ion Batteries https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/882850/MGN_550_Electrical_Installations_-_Guidance_for_Safe_Design_Installatio....pdf
18.	US Gov Marine Safety Information Bulletin "Passenger vessel compliance and operational readiness" https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/MSIB/2019/MSIB_008_19.pdf?ver=2019-09-10-115632-287
19.	Vorbeugender und abwehrender Brandschutz bei Lithium-Ionen Großspeichersystemen (1. Auflage) Bundesverband Energiespeicher Systeme e. V., Oranienburger Straße 15, 10178 Berlin https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/10/Brandschutz_Lithium_Ionen_Grossspeichersysteme_BVES.pdf »
Autres documents utilisés dans la préparation du présent document d'orientation	
20.	12-28K_Hazards Containing Arrays of Lithium Ion _Li-Ion_ Batteries.pdf 32,5 Ko
21.	140619_Gen2 Fire Suppression Report_V1 o.pdf 939,0 Ko
22.	855_ESS_AAA_DraftDevminutes_01_17.pdf 16,1 Mo

No.	Document
23.	CEN B0386 Proposition lithium Italie 2018-06-01.pdf 616,0 KB
24.	Combustible Metal Extinguishing Reference Chart.pdf 241,0 Ko
25.	DB27A7110892423EABB2FCB95D5AC1B0.pdf 3,2 Mo
26.	Risques d'incendie associés aux batteries (1).pdf 5,2 MB
27.	Système d'extinction d'incendie Powerstar.pdf 2,5 Mo
28.	FI---Trust-Report-Mobility-Scooters-May-15.pdf 1,2 Mo
29.	FM Global White-Paper-Increased-Use-of-LIBs.pdf 257,0 KB
30.	FPE Extra Issue 26, février 2018 - SFPE.pdf 1,2 Mo
31.	FSH_2_18_0046_CEN_TC70_WG5_No386.pdf 602,0 Ko
32.	Hill-0513-ExtinguishmentofLithiumBatteriesrev2.pdf 516,0 KB
33.	Protection des liquides des batteries lithium-ion (2) 3M.pdf 490,0 KB
34.	lithium batteries.pdf 817,0 Ko
35.	Lithium Ion (Li-Ion) Batteries_ A Fire_DC Journal.pdf 1,9 Mo
36.	Lithium-Ion Batteries used in Electrified Vehicles - General Risk Assessment and Construction Guidelines from a Fire & Gas Release Perspective.pdf 543,0 Ko
37.	Risques liés aux batteries au lithium-ion - SFPE.pdf 4,8 Mo
38.	Sécurité des batteries au lithium-ion - Évaluation par des tests d'abus, gaz fluorure (1).pdf 19,8 MB
39.	Managing the lithium (ion) battery fire risk - Industrial Fire Journal - Fire & Rescue - Hemming Group Ltd.pdf 1
40.	NFPA li ion batteries.pdf 646,0 Ko
41.	Risques liés aux carburants alternatifs dans les tunnels routiers et les garages souterrains (1).pdf 843,0 KB
42.	Samsung SDI MSDS_2013.pdf 243,0 Ko
43.	Introduction sûre de la propulsion par batterie en mer (2).pdf 651,0 KB
44.	Numérisé à partir d'un appareil multifonction Xerox.pdf 845,0 Ko
45.	SFPE_Q4-2012.pdf 910,0 ko
46.	srapport_2012_66.pdf 5,2 Mo
47.	Etude des risques d'incendie et d'explosion des véhicules à carburant alternatif dans les tunnels (1).pdf 2,7 MB
48.	TR-Lithium-IonPhase3.pdf 4,4 Mo
49.	White-Paper- Increased-Use-of-LIBs.pdf 240,0 KB

Date de publication: 15-02-2022

euralarm

Euralarm
Gubelstrasse 22
CH-6301 Zug (Switzerland)

Numéro d'enregistrement commercial Suisse: CHE-222.522.503

E secretariat@euralarm.org

W www.euralarm.org

