



Ineris - 204864 - 2705199 - v3.0

28/06/2021

Analyse d'un incendie dans un container de batteries et supercondensateurs - réponses aux questions du BEA-RI

BEA-RI

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Incendie, Dispersion, Explosion

Rédaction : LEROY GUILLAUME - DELBAERE THIERRY

Vérification : MARLAIR GUY; TRUCHOT BENJAMIN; DUPLANTIER STEPHANE; LECOCQ AMANDINE; BORDES ARNAUD; CHAUMETTE SYLVAIN

Approbation : Document approuvé le 28/06/2021 par PIQUETTE BERNARD

Liste des personnes ayant participé à l'étude : -

Table des matières

1	Glossaire	5
2	Introduction	6
2.1	Déontologie.....	6
2.2	Contexte	6
2.3	Documents de référence, visite et réunions d'échanges.....	6
2.3.1	Documents de référence	6
2.3.2	Visite du site du 9 décembre 2020	6
2.3.3	Réunion RTE/INGETEA/BEA/INERIS du 17 décembre 2020	7
3	Présentation de l'installation objet de l'évènement et informations sur l'évènement.....	8
3.1	Description générale du site	8
3.2	Description de l'installation	8
3.2.1	Container « convertisseur de puissance ».....	9
3.2.2	Conteneur de stockage d'énergie	9
3.2.3	Groupe de conditionnement d'air.....	9
3.2.4	Systèmes de détection et lutte incendie dans les containers	10
3.3	Description succincte de l'évènement	10
4	Réponses aux questions posées par le BEA-RI.....	12
4.1	Origine de l'incendie	12
4.1.1	Question du BEA-RI	12
4.1.2	Réponse de l'Ineris	12
4.2	Cause du départ de feu	13
4.2.1	Question du BEA-RI	13
4.2.2	Réponse de l'Ineris	13
4.3	Avis sur le système d'extinction en place	14
4.3.1	Question du BEA-RI	14
4.3.2	Réponse de l'Ineris	14
4.4	Solutions d'extinction préconisées	14
4.4.1	Question du BEA-RI	14
4.4.2	Réponse de l'Ineris	14
4.5	Modélisation des distances d'effets thermiques et toxiques.....	15
4.5.1	Question du BEA-RI	15
4.5.2	Réponse de l'Ineris	15
4.6	Travaux normatifs en cours dans le domaine de stockage d'énergie	16
4.6.1	Question du BEA-RI	16
4.6.2	Réponse de l'Ineris	16
5	Limites de l'étude/réserves.....	19
6	Références	20
7	Annexes.....	20

Résumé

Ce rapport a pour objet de répondre à une sollicitation du BEA-RI faite à l'Ineris. Celui-ci concerne l'enquête sur l'incendie d'un container de batteries et supercondensateurs situé sur la commune de Perles et Castelet, survenu le 1^{er} décembre 2020.

L'objet de ce rapport consiste à répondre à six questions posées par le BEA-RI visant à :

- Situer l'origine du foyer d'après les informations obtenues et observations réalisées ;
- Proposer des hypothèses concernant les causes de départ de l'incendie ;
- Donner un avis sur le système d'extinction en place ;
- Donner des recommandations générales sur les solutions d'extinction adaptées aux feux de batteries et supercondensateurs ;
- Modéliser les distances d'effets thermiques et toxiques associées à ce type d'incendie ;
- Donner des informations sur les travaux normatifs dans le domaine du stockage d'énergie.

1 Glossaire

AC	Alternative Current (ou courant alternatif en français)
BESS	Battery Energy Storage System
BEA-RI	Bureau d'Enquêtes et d'Analyses - Risques Industriels
DC	Direct Current (ou courant continu en français)
EES	Electrical Energy Storage
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
LFP	Lithium Fer Phosphate
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuils des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs

2 Introduction

2.1 Déontologie

L'Ineris n'a jamais réalisé d'études sur les systèmes de stockage d'énergie stationnaire dont l'intégration a été réalisée par la société INGETEAM.

2.2 Contexte

Le 1^{er} décembre 2020, un incendie s'est produit à Perles et Castelet sur le site RTE. Celui-ci a eu lieu dans un container de stockage d'énergie équipé de batteries et de supercondensateurs. Des effets ont été observés à l'extérieur du container (flammes, fumées, gaz toxiques, ...) nécessitant l'intervention des pompiers (SDIS 09) pour stopper la dégradation du container et protéger les personnes, les installations ainsi que le milieu environnant.

Suite à l'incendie, le BEA-RI a missionné l'Ineris par courriel en date du 14 janvier 2021 pour répondre à six questions. Le courriel de demande est présenté en Annexe 1 de ce rapport. Cette note complète le rapport d'enquête sur l'incendie du poste de transformation RTE de Perles et Castelet (09) rédigé par le BEA-RI.

2.3 Documents de référence, visite et réunions d'échanges

2.3.1 Documents de référence

Les éléments ayant permis de rédiger ce rapport sont :

- Un document fourni par le BEA et intitulé : 2020_12_01 Feu de container de batterie au lithium à Perles-et-Castelet (09) ;
- Des documents fournis par RTE :
 - Prise en compte du risque incendie dans la conception des postes électrique de RTE – Note d'information pour le BEA-RI. Mise à jour du 08/01/2021 ;
 - Une FDS des batteries intitulée MSDS - Lithium-ion battery NESP Series ;
 - Une note technique des batteries intitulée FE125A LFP specification ;
 - Une FDS des supercondensateurs intitulée 191206 SkelStart SkelMod SDS ;
 - Une note technique des supercondensateurs intitulée 02-SMR-170428-1.

Ils ont été recueillis :

- lors d'un déplacement de l'Ineris sur le site RTE effectué en Ariège le 9 décembre 2020 ;
- lors d'une réunion BEA-RI-INERIS-RTE-INGETEAM qui s'est déroulée à Paris-La Défense dans les locaux de RTE le 17 décembre 2020 ;
- lors d'échange par courriers électroniques.

2.3.2 Visite du site du 9 décembre 2020

Les personnes présentes lors de la visite du site étaient :

- 2 officiers du SDIS09,
- 1 personne de la DREAL,
- 2 personnes du BEA-RI,
- 3 personnes de RTE,
- 2 personnes de l'Ineris.

Cette visite s'est déroulée en deux temps :

- Le matin a eu lieu la visite du site RTE pendant laquelle un responsable RTE a décrit le site et les deux officiers ont décrit le sinistre. Les deux personnes du BEA-RI et de l'Ineris ont pu ensuite accéder à l'intérieur du conteneur pour prendre des photos, collecter des échantillons et constater l'état des matériaux dégradés par l'incendie.
- L'après-midi, un debriefing s'est tenu dans les locaux du SDIS 09 à Foix. Les pompiers ont pu décrire plus précisément leur intervention.

2.3.3 Réunion RTE/INGETEAM/BEA/INERIS du 17 décembre 2020

Les personnes présentes lors de cette réunion étaient :

- 2 personnes du BEA,
- 3 personnes de RTE,
- 3 personnes de l'Ineris,
- 3 personnes d'INGETEAM.

Les personnes de RTE et d'INGETEAM ont fait une description précise du contexte de l'installation et de son fonctionnement. Cette réunion n'a cependant pas permis d'obtenir toutes les informations permettant de cerner précisément l'origine du sinistre.

3 Présentation de l'installation objet de l'évènement et informations sur l'évènement

3.1 Description générale du site

Le poste de transformation RTE est situé à Perles-et-Castelets en Ariège (09), à 30 km au sud-est de Foix. La Figure 1 présente une vue aérienne du site.



Figure 1 : Vue aérienne du site

Ce poste électrique est alimenté par deux lignes haute tension de 63 kV et fournit du courant notamment au client IMERYS par une ligne haute tension de 20 kV. IMERYS est un leader industriel qui exploite du talc dans une mine à ciel ouvert.

Le container de stockage d'énergie « hybride » (constitué de batteries et de supercondensateurs), objet du rapport, se situait lors de l'incendie, à l'ouest du poste de transformation électrique et était superposé sur le container « convertisseur de puissance » (Figure 2).

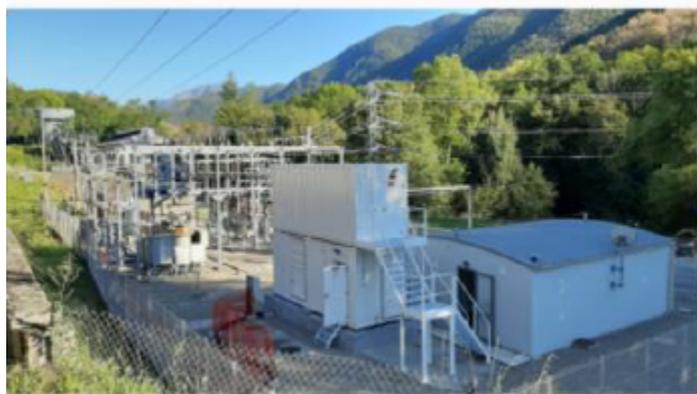


Figure 2 : Vue des deux containers

3.2 Description de l'installation

L'installation constituée des deux containers est un prototype d'essai fabriqué par INGETEAM pour le compte de RTE dans le cadre du projet H2020 OSMOSE. Son principe consiste à assurer une alimentation électrique stabilisée en fréquence (50 Hz). Ce démonstrateur utilise un système de stockage d'énergie hybride (batteries et supercondensateurs) et a pour objectif de valider la robustesse et l'efficacité d'une régulation dite en « grid forming » permettant, lors du raccordement de centrales éoliennes et photovoltaïques – ainsi que tout autre système se raccordant par des convertisseurs de puissance sur le réseau – de fournir un service pour le maintien de la fréquence du réseau s'assimilant à celui des machines tournantes.

Le démonstrateur est composé :

- d'un container « convertisseur de puissance » complété d'un groupe froid ;
- d'un container de stockage d'énergie (comprenant les batteries et supercondensateurs).

3.2.1 Container « convertisseur de puissance »

Le conteneur « convertisseur de puissance » est disposé au niveau du sol (R+0). Il comprend :

- la cellule HTA (20 kV) constituée d'un transformateur sec de puissance 1000 kVA. La tension primaire est de 20kV et la tension secondaire est de 600V ;
- le transformateur de puissance 1MVA 20 kV/600V ;
- les convertisseurs ;
- le contrôle commande du système de stockage associé à une interface homme machine pour le pilotage du système ;
- le groupe froid.

3.2.2 Container de stockage d'énergie

Le conteneur de stockage d'énergie est disposé au-dessus du container « convertisseur de puissance » soit au niveau R+1.

Au total, l'équipement est conçu pour délivrer une puissance de 1 MW de puissance en AC et 3x500 kW de puissance en DC (dont 2x500 kW pour les supercondensateurs et 500 kW pour les Batteries Li-ion).

Ce container est constitué de plusieurs éléments :

- Des batteries lithium-ion de type LFP placées dans 4 racks de 15 modules. Chacun des 15 modules contient 16 cellules en série de la marque Narada.
- Des condensateurs (ou supercondensateurs) placés dans 6 racks verticaux. Chacun des racks comprend 11 modules. Chaque module contient 36 supercondensateurs connectés en série de la marque Skeleton Technologies.
- Un système de régulation de température (refroidissement à eau).
- Un système de détection et d'extinction décrit dans le paragraphe 3.2.4.

Le plan du container est présenté sur la Figure 3.

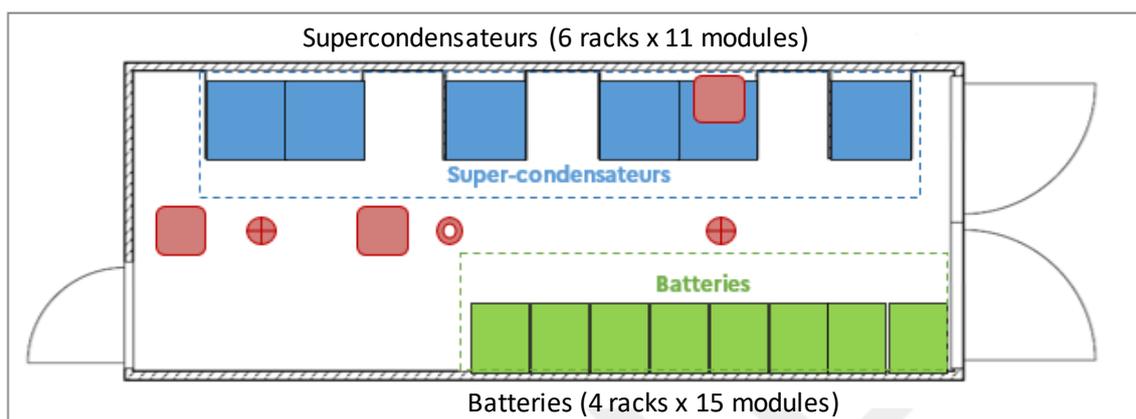


Figure 3 : Plan du container de stockage d'énergie

Selon les informations fournies par RTE, le container n'était pas équipé d'évent de sécurité pour évacuer une éventuelle pression interne au container.

3.2.3 Groupe de conditionnement d'air

Le groupe de conditionnement d'air est situé à l'arrière du container « convertisseur de puissance ». Il permet de ventiler et refroidir les containers de conversion de puissance et de stockage d'énergie.

3.2.4 Systèmes de détection et lutte incendie dans les containers

Selon les informations communiquées par la société INGETEAM, les systèmes de détection et d'extinction sont les suivants :

- Le container de stockage d'énergie (R+1) est équipé de dispositifs de détection incendie (le premier constitué de deux détecteurs thermo-vélocimétriques ponctuels et le second d'un détecteur ponctuel infra-rouge) et de 2 systèmes de lutte incendie automatique utilisant comme agent neutralisant une poudre de sel de phosphate (marque Firepro). Les spécifications techniques des capteurs et du systèmes d'extinction sont présentées respectivement en Annexe 3, 4 et 5.
- Le container Electronique de puissance (R+0) est équipé d'une détection incendie dans chacune des zones qui le constitue (détection infra-rouge ou détection température selon la zone). Ces systèmes peuvent être neutralisés lorsque les interventions à l'intérieur du container le nécessitent.

La Figure 4 présente la position de ces dispositifs dans le container de stockage d'énergie (R+1).

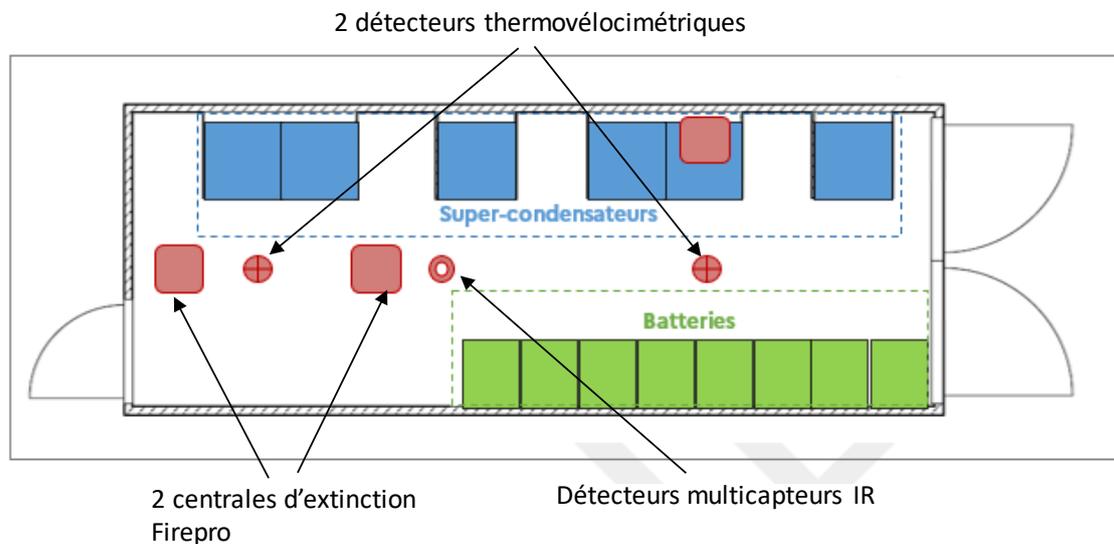


Figure 4 : Positions des systèmes de détection et d'extinction dans le container de stockage d'énergie

3.3 Description succincte de l'évènement

Une description précise de l'évènement a été réalisée par le BEA-RI. Ce paragraphe se contente de faire ressortir les points importants de l'évènement afin de mieux comprendre les réponses apportées aux 6 questions posées.

Les instants clés de l'évènement sont les suivants :

8h30 : L'installation est mise sous tension.

9h00 : L'alarme sonore se déclenche – des dégagements gazeux sont observés autour du container de stockage d'énergie par les personnes en charge du projet.

9h30 : Les pompiers reçoivent une alarme du site.

9h48 : La porte ouest du container de stockage d'énergie s'ouvre brusquement.

10h05 : Le premier engin arrive sur site. Une trentaine de sapeurs-pompiers et 6 engins d'intervention sont mobilisés.

Vers 11h00 : un effet thermique violent est ressenti et localisé du côté des supercondensateurs, selon les services d'intervention sur site.

Dans la matinée, 4 personnes résidant dans l'habitation la plus proche située au nord du site ont été évacuées.

Un arrosage par intermittence est réalisé entre 11h47 et 17h. Après plusieurs choix tactiques s'étant révélés inefficaces, l'extinction s'est faite par vaporisation de brouillard d'eau. De l'avis des pompiers, la position en hauteur du conteneur de stockage d'énergie n'a pas simplifié l'extinction.

Des mesures de concentration en fluorure d'hydrogène sont réalisées à 10 m du conteneur à 12h00 et dans le conteneur à 17h00. La concentration mesurée est nulle.

Entre minuit et 1h30, une opération de grutage est engagée pour déplacer le conteneur de stockage d'énergie de sa position initiale (R+1) au sol dans la zone située entre le bâtiment et le transformateur (Figure 5).



Figure 5 : Photo du conteneur de stockage d'énergie le lendemain de l'incendie

11h00 : la fin de l'opération est déclarée par les pompiers lorsque la température des derniers points chauds est redescendue à 30°C.

La Figure 6 présente deux photos du conteneur prises pendant le sinistre par les pompiers. L'horaire exacte des photos n'a pas été communiqué.



Figure 6 : Photos du conteneur de stockage d'énergie prises pendant le sinistre

4 Réponses aux questions posées par le BEA-RI

4.1 Origine de l'incendie

4.1.1 Question du BEA-RI

Au regard de l'état de dégradation des équipements à l'intérieur du container, des traces d'incendie visibles sur les faces externes du container, les investigations réalisées permettent-elles de situer une zone préférentielle de démarrage et de développement du foyer ?

4.1.2 Réponse de l'Ineris

Il semble que la zone préférentielle de démarrage de l'incendie se situerait au niveau des premiers modules de condensateurs (entourée en jaune sur la Figure 7) d'après l'état des racks de batteries et de supercondensateurs. Cette hypothèse de position de départ de feu est issue :

- de l'observation des photos prises par les services de secours au moment de l'incendie ;
- des observations réalisées sur place le 9 décembre 2020 et des photos prises le même jour (Annexe 2).

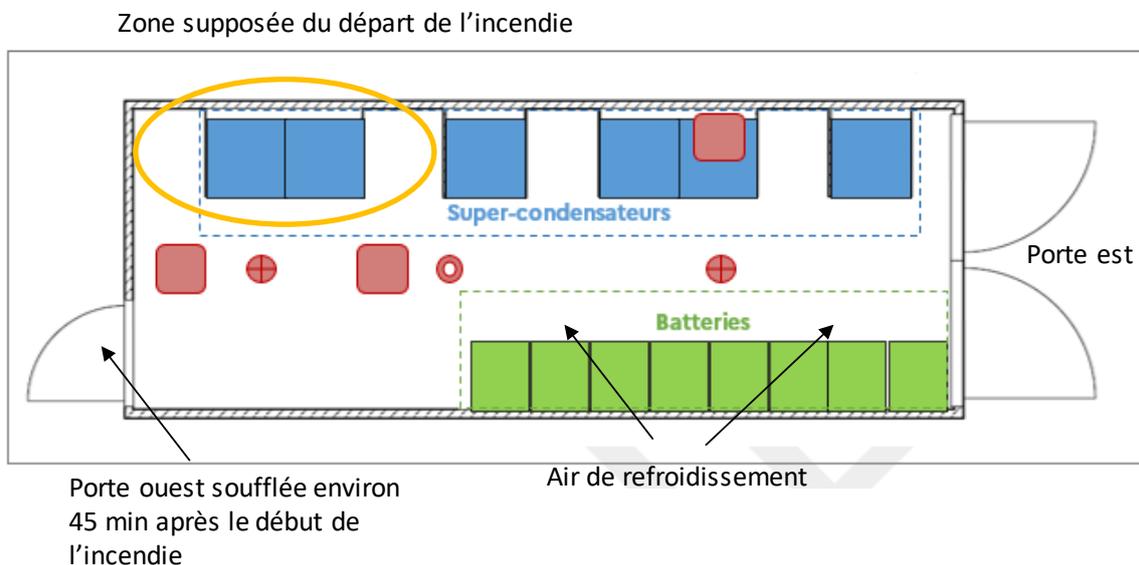


Figure 7 : Plan du container

Il semble que les flammes ne se soient pas propagées à l'ensemble du container d'après les photos de l'intérieur du container prises lors de la visite du site le 9 décembre 2020 (Annexe 2). L'état de dégradation est dégressif à mesure que l'on s'écarte de la zone entourée en jaune sur la Figure 7.

Etant donné le relatif bon état des racks batteries, quelle que soit leur position par rapport à la zone de départ de feu, il nous semble peu probable que le feu ait été initié au niveau des batteries. Les photos en annexe 2 montrent l'état des batteries après l'incendie. Ces photos montrent que des effets convectifs et radiatifs ont détériorés les batteries (notamment celles placées à proximité de la porte ouest) mais qu'il est peu probable qu'elles aient brûlé directement à cause d'un événement initiateur propre à l'une des batteries. Une analyse plus approfondie de l'intérieur et de la partie arrière des racks batteries accolée à la paroi du container serait toutefois nécessaire pour valider cette hypothèse.

4.2 Cause du départ de feu

4.2.1 Question du BEA-RI

Sans dire exactement quelle est la cause exacte de l'incendie du castelet, les enquêteurs du BEA privilégient l'hypothèse d'une montée en température d'un composant ayant entraîné l'inflammation de matériaux combustibles ou inflammables. Plusieurs causes à cette montée en température peuvent être avancées :

- défaut de fabrication d'un condensateur pouvant être à l'origine d'une usure prématurée et d'une détérioration d'un composant ayant entraîné une élévation de la température et son inflammation ;
- défaut de conception de l'installation étant à l'origine d'un défaut électrique ou ayant conduit à une utilisation en dehors des spécifications d'un composant ;
- défaut de conception de l'algorithme de contrôle qui a conduit à sortir des plages d'exploitation des composants.

Ces hypothèses vous semblent-elles plausibles ? D'autres hypothèses peuvent-elles être avancées compte tenu des constatations faites ?

4.2.2 Réponse de l'Ineris

Nous n'avons pas assez d'information pour cibler l'événement initiateur de l'incendie. Cependant nous pouvons avancer plusieurs causes potentielles issues de campagnes d'essai réalisées à l'Ineris et de compétences acquises dans le cadre d'études sécurité.

Lors d'essais de surcharge de supercondensateurs réalisés à l'Ineris en 2013 dans des conditions d'essai spécifiques et sur une référence de supercondensateur [1], le phénomène d'échauffement et de libération brutale de gaz inflammables a pu être constaté à plusieurs reprises. Pendant la montée de tension aux bornes du condensateur, une augmentation linéaire de la température est observée jusqu'à l'ouverture de l'événement. Cette ouverture d'événement apparaît pour un état de charge de 450 à 500% de la tension nominale et pour une température de surface située autour de 105°C – 120°C. Elle s'accompagne d'une libération d'acétonitrile et de monoxyde de carbone essentiellement. Du fluorure d'hydrogène peut être détecté mais plutôt après qu'une réaction plus violente type éclatement/explosion/incendie ne se soit produit. Dans d'autres conditions d'essais, il n'est pas exclu que d'autres gaz puissent être produits (BF₃, HCN, NO_x ...).

En revanche, dans le cas d'un court-circuit, le supercondensateur a tendance à peu réagir. En effet, il est par nature conçu pour délivrer un très fort courant en un temps court.

La défaillance au niveau des racks de supercondensateurs peut avoir diverses origines, comme :

- un défaut de fabrication d'un supercondensateur ;
- un défaut de conception de l'installation étant à l'origine d'un défaut électrique ou ayant conduit à une utilisation en dehors des spécifications d'un composant électrique ou d'un supercondensateur (refroidissement insuffisant, câblage électrique mal dimensionné, composant qui chauffe à proximité, ...)
- un défaut de conception de l'algorithme de contrôle des supercondensateurs qui a conduit à sortir des plages d'exploitation d'un composant électrique ou d'un supercondensateur.

Il est donc difficile de répondre à ce stade sur les origines exactes du départ de feu. Néanmoins, parmi les possibilités et compte-tenu d'un départ probable dans la zone des supercondensateurs, on peut retenir, comme cause possible du départ de feu, la surcharge ou la sur-décharge de supercondensateurs. Ce phénomène a pu provoquer une montée en pression de celui-ci jusqu'à ouverture de l'événement de sécurité (si présent) ou éclatement de celui-ci s'il n'est pas pourvu d'un événement, entraînant la libération de l'électrolyte (acétonitrile) sous forme gazeuse. Etant donné ses propriétés très inflammables, l'acétonitrile a pu s'enflammer, en créant une explosion, au contact d'une source d'inflammation (surface chaude, flamme, étincelle, ...) située dans le container.

L'accès aux données de mesure et de régulation des paramètres électriques au moment de l'évènement permettrait de mieux comprendre le scénario accidentel et de mettre en évidence le dysfonctionnement ayant affecté les modules de supercondensateurs.

4.3 Avis sur le système d'extinction en place

4.3.1 Question du BEA-RI

Le système d'extinction automatique proposé (agent extincteur et mode d'application) par le concepteur du container est-il adapté à l'incendie ?

4.3.2 Réponse de l'Ineris

Selon les informations communiquées par la société INGETEAM, le container de stockage d'énergie était équipé de dispositifs de détection incendie et d'un système fixe de lutte incendie utilisant comme agent neutralisant un sel de phosphate de marque Firepro. Ce moyen fait partie des méthodes préconisées par les fiches de données de sécurité des supercondensateurs et des batteries. Leur positionnement dans le container est rappelé au paragraphe 2.2.4

Le principe d'extinction est basé sur la dispersion d'un aérosol permettant un blocage des réactions chimiques en chaîne, qui se produisent dans la flamme et non par abaissement de la teneur en oxygène ou par refroidissement.

Au regard des informations récoltées, plusieurs hypothèses relatives à la non-efficacité du système d'extinction automatique peuvent être émises :

- une détection tardive ayant conduit à une inefficacité du système d'extinction automatique du fait d'un feu devenu trop puissant ;
- un temps de détection acceptable mais un système de lutte incendie non adapté : la poudre est un inhibiteur sur les réactions en phase gazeuse mais ne permet pas le refroidissement des éléments, les émissions de solvants inflammables ne sont donc pas toujours stoppées et ceux-ci peuvent se ré-enflammer au regard des conditions dans le container. Lorsque les systèmes de lutte n'ont plus de réserve, l'incendie est susceptible de se poursuivre.
- une combinaison des deux, c'est-à-dire, une détection tardive et un système d'extinction inefficace.

4.4 Solutions d'extinction préconisées

4.4.1 Question du BEA-RI

Quelles solutions d'extinction peuvent être privilégiées en fonction des types de batteries et de supercondensateurs ?

4.4.2 Réponse de l'Ineris

D'après notre expérience dans le domaine des feux de batteries ou de supercondensateurs, une bonne stratégie consiste à refroidir rapidement la zone enflammée. Le système de lutte incendie automatique doit donc arroser abondamment et de façon localisée la zone enflammée afin de faire chuter la température et de limiter la propagation du feu aux cellules adjacentes. Une action précoce du système de lutte automatique est donc à privilégier afin de circonscrire au plus vite les flammes, ce qui suppose une action également précoce du système de détection.

Il pourrait être préconisé de mettre en place un système de lutte incendie automatique à eau (ou eau + additifs) tel que du sprinklage dimensionné de manière adaptée ou un noyage avec un système type déluge qui demande moins de précision mais qui peut conduire à une dégradation plus importante du matériel [3]. Dans son document « sprinkler protection guidance for lithium-ion based energy storage systems » [4], le NFPA montre à travers une série de tests que le sprinklage n'est pas toujours efficace pour éviter la propagation d'un incendie dans certaines configurations de stockages de batteries Li-ion.

Il convient toutefois de rappeler à ce stade que, bien qu'il existe des tests relatifs à l'évaluation des systèmes de type sprinkler sur des feux de batteries, il n'existe pas aujourd'hui de normes relatives au dimensionnement de tels systèmes.

A noter que les mécanismes physiques intervenant pendant l'extinction des batteries et des condensateurs fait toujours l'objet d'études et de recherches.

4.5 Modélisation des distances d'effets thermiques et toxiques

4.5.1 Question du BEA-RI

En vue d'avancer des recommandations en matière de protection des services de secours dans de futures interventions :

- Quelles sont les flux thermiques que peuvent générer l'incendie de ce type d'installation ?
- Est-il possible de qualifier la dangerosité des fumées de ce type d'incendie par rapport à un incendie de commerce ou de logistique ?

4.5.2 Réponse de l'Ineris

4.5.2.1 Valeurs de références relatives aux seuils d'effets thermiques

D'après l'arrêté du 29/09/05 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation, les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques pour les effets sur l'homme sont les suivantes :

- 3 kW/m², seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- 5 kW/m², seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement ;
- 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement.

4.5.2.2 Effets thermiques

Deux scénarios sont considérés :

- Scénario 1 : Un feu sur la totalité de la surface du container ;
- Scénario 2 : Un feu sur la moitié de la surface du container (pour se rapprocher des conditions observées lors du sinistre).

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- Les modélisations de distances d'effets thermiques ont été réalisées avec le logiciel FNAP développé par l'Ineris [2].
- Les dimensions du container prises en compte dans les modélisations sont les suivantes : 7 m x 2,6 m x 2,5 m (L x l x h).
- La hauteur de flamme a été calculée avec la formule de Thomas [2].
- La vitesse de combustion d'un feu de supercondensateur retenue est de 30 g/m²/s. Cette valeur est issue des essais réalisés par l'Ineris sur des feux d'électrolytes et de plastiques.
- L'émittance de flamme retenue est 60 kW/m². Cette valeur est issue des essais réalisés par l'Ineris sur des feux de batteries.

Les distances sont données en mètres et à hauteur d'homme pour un container posé au sol.

Scénario	Hauteur de flamme (m) à partir de la base du container	Distance d'effet maximale (m)		
		SEI	SEL	SELS
1	5	14	10	8
2		10	8	6

Tableau 1 : Distances d'effets thermiques associées à l'incendie d'un container de stockage d'énergie

Ce tableau présente les conséquences majorantes en cas d'incendie de conteneur de stockage d'énergie. Il est probable que les effets thermiques associées à l'incendie du 1^{er} décembre aient été plus faibles au regard des observations rapportées par les services de secours.

4.5.2.3 Effets toxiques

Il est difficile de comparer d'une manière générale la dangerosité des fumées de ce type d'incendie par rapport à l'incendie de commerce ou de logistique car la composition des fumées dans le cas d'incendie de commerce ou de logistique dépend fortement de la nature des stockages. Par exemple des fumées issues de stockages de PVC peuvent potentiellement présenter une toxicité élevée du fait de la présence de chlorure d'hydrogène. Toutefois, dans une approche qualitative, il faut rappeler la composition des fumées issues d'un incendie de supercondensateurs et de batteries.

D'après les essais réalisés à l'Ineris, les fumées issues des feux de supercondensateurs sont susceptibles de contenir, principalement, les gaz toxiques suivants :

- HF, HCN, NO_x, CO, CO₂, C₂H₃N et plus rarement du BF₃.

D'après les essais réalisés à l'Ineris, les fumées issues des feux de batteries Li-ion sont susceptibles de contenir les principaux gaz toxiques suivants :

- gaz fluorés (HF, POF₃), HCl, CO, CO₂

A noter que les fumées issues des autres produits de décomposition (plastiques, câbles, étanchéité, ...) peuvent contenir également les gaz toxiques suivants : CO, NO_x, HCl, HCN, SO₂...

Une contamination post-accidentelle (effets toxiques sub-chroniques ou chronique) n'est évidemment pas à exclure, due à la présence dans les fumées et les eaux d'extinction d'autres contaminants tels que les dioxines, furanes, PCB, HAP et composés métalliques. Les composés métalliques se concentrent dans l'environnement essentiellement dans les eaux et les sols et par conséquent dans les végétaux ultérieurement.

Pour quantifier précisément les effets toxiques aigus associés aux fumées d'incendie d'un container, il serait nécessaire de connaître les quantités massiques matériau par matériau présents dans le conteneur.

4.6 Travaux normatifs en cours dans le domaine de stockage d'énergie

4.6.1 Question du BEA-RI

De par sa participation aux travaux de normalisation au niveau national et international, l'Ineris peut-il nous apporter des informations sur l'état des travaux en cours dans le domaine de la sécurité des dispositifs de stockage d'énergie ?

4.6.2 Réponse de l'Ineris

4.6.2.1 Normes IEC

Les travaux IEC du TC120 dont l'Ineris assure actuellement la présidence au niveau international concerne les systèmes de stockage d'énergie de type stationnaire. La norme IEC62933-5-2 (éd. 1) définit les exigences de sécurité pour les systèmes EES intégrés dans un réseau – Systèmes électrochimiques.

Elle inclut notamment les points suivants :

- Appréciation du risque propre au système BESS
 - Structure du BESS
 - Caractéristiques générales
 - Caractéristiques spécifiques
 - Description des conditions d'utilisation du BESS
 - Analyse du risque au niveau du système
 - Appréciation du risque au niveau du système

- Exigences nécessaires à la réduction des risques
 - Mesures générales de réduction des risques
 - Mesures préventives contre tout dommage au voisinage
 - Mesures préventives contre toute blessure ou lésion physique ou tout dommage préjudiciables à la santé des travailleurs et des résidents
 - Conception de la protection contre les surintensités
 - Déconnexion et arrêt du BESS
 - Fonctionnement et maintenance
 - Formation du personnel
 - Conception de la sécurité
 - Exigences générales pour la sécurité du BESS
 - Prévention intrinsèque du BESS
 - Protection contre les dangers électriques
 - Protection contre les dangers mécaniques
 - Protection contre l'explosion
 - Protection contre les dangers provenant des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques
 - Protection contre les dangers d'incendie
 - Protection contre les dangers liés à la température
 - Protection contre les effets chimiques
 - Protection contre les dangers provenant de dysfonctionnements des systèmes auxiliaires, de commande et de communication
 - Protection contre les dangers provenant des milieux environnants.
- Validation et essai du système
 - Généralités
 - Validation et essai du BESS
 - Dangers électriques
 - Dangers mécaniques
 - Explosion
 - Dangers provenant des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques
 - Dangers d'incendie (propagation)
 - Dangers liés à la température
 - Effets chimiques
 - Dangers provenant de dysfonctionnements des systèmes auxiliaires, de commande et de communication
 - Dangers provenant de l'environnement
 - Indice de protection de l'enveloppe et des protecteurs du BESS.

4.6.2.2 Normes UL

Trois normes peuvent être citées à ce sujet :

- La norme UL 9540 « standard for energy storage systems and equipments » (édition 2 – 2020) fixe les exigences pour les systèmes de stockage d'énergie. En ce qui concerne les systèmes de stockages énergie électrochimique (batteries et supercondensateurs), elle s'appuie sur les recommandations fixées par la norme UL 1973.
- La norme UL 9540A « standard for test method for evaluating thermal runaway fire propagation » (édition 4 - 2019) concerne la méthode de tests à l'échelle cellule, module, pack et système pour l'évaluation de la propagation d'un feu par emballage thermique pour des systèmes de stockage d'énergie de type batteries.
- La norme UL1973 « Battery for use in Light Electric Rail (LER) – applications and stationary applications » (édition 2 – 2018) donne également des recommandations de construction pour les packs batteries stationnaires. Le domaine d'application concerne les technologies de batteries Ni-MH, Ni-Cd, Redox Flow, Zebra, batteries Li-ion, Supercondensateurs, ... Cette norme donne des guides par rapport au choix :
 - des matériaux d'enveloppe du système de stockage ;
 - du type de câblage électrique, les distances à respecter pour les bornes de connexion ;
 - des niveaux d'isolation ;
 - du type d'analyse de la sécurité du système (AMDEC) à mener au préalable de l'installation ;
 - du design des circuits de protection, des paramètres de contrôle ;
 - du système de gestion de la température du container de batteries ;
 - du type de batteries/condensateurs.

Elle définit également les exigences d'essais électriques, mécaniques et thermiques afin d'assurer la sécurité du système de stockage d'énergie.

Exemples d'essais requis :

- surcharge (110%),
- court-circuit (20mohms),
- efficacité de la protection en surdécharge,
- charge de modules déséquilibrés,
- tenue dielectrique,
- continuité,
- défaillance du circuit de refroidissement thermique,
- vibrations,
- choc mécanique,
- humidité/condensation/air salin,
- agression par un feu externe,
- non-propagation par défaut d'une batterie/condensateur interne.

En revanche, elle ne définit pas les mesures de protection à mettre en place pour détecter, alerter, éteindre un incendie qui se produirait à l'intérieur du système de stockage d'énergie.

5 Limites de l'étude/réserves

Cette étude est basée sur les observations faites lors de la visite du 9 décembre 2020 et les informations obtenues au cours des différents échanges avec les parties concernées par ce sinistre. Afin de poursuivre l'investigation pour identifier la cause à l'origine du départ de feu, des documents supplémentaires seraient nécessaires tels que :

- le plan de test mis en œuvre le jour du sinistre par RTE ;
- le rapport de test associé ;
- les alarmes observées pendant l'essai ;
- les enregistrements correspondants ;
- les données issues du BMS ;
- ...

Par ailleurs, une analyse de l'intérieur d'un module-batterie située du côté de la porte ouest et de la partie arrière des racks batteries accolée à la paroi du container pourrait être utile à une compréhension plus approfondie de l'évènement.

6 Références

- [1] Données d'essais abusifs de supercondensateurs contenant de l'acétonitrile issues de la plateforme STEEVE – 2013
- [2] Logiciel FNAP pour calcul distances d'effets thermiques issu du document INERIS Oméga2 : formalisation des savoirs et outils dans le domaine des risques majeurs – modélisation de feux industriels – mars 2014
- [3] DRA06 – Référence du rapport DRA-18-172844-09674A – Moyens d'extinction - rapport non public.
- [4] NFPA – Sprinkler protection guidance for lithium-ion based energy storage systems – Final Report - June 2019

7 Annexes

Liste des annexes :

Annexe 1 : Courriel de demande du BEA-RI – 14 janvier 2021

Annexe 2 : Photos de l'intérieur du container de stockage d'énergie après incendie

Annexe 3 : Spécification technique d'un détecteur multi capteur infra-rouge

Annexe 4 : Spécification technique d'un détecteur thermovélocimétrique

Annexe 5 : Spécification technique d'un générateur d'extinction FP2000

Annexe 1 : Courriel de demande du BEA-RI – 14 Janvier 2021

Bonjour,

Dans le cadre de la sollicitation adressé par le BEA RI à l'Ineris concernant l'enquête sur l'incendie du Castelet, je vous prie de trouver ci-dessous la liste des questions sur lesquelles nous souhaiterions vous interroger.

1- Au regard de l'état de dégradation des équipements à l'intérieur du container, des traces d'incendie visibles sur les faces externes du container, les investigations réalisées permettent-elles de situer une zone préférentielle de démarrage et de développement du foyer ?

2- Sans dire exactement quelle est la cause exacte de l'incendie du castelet, les enquêteurs du BEA privilégient l'hypothèse d'une montée en température d'un composante ayant entraîné l'inflammation de matériaux combustible ou inflammables. Plusieurs causes à cette montée en température peuvent être avancées :

- Défaut de fabrication d'un condensateur pouvant être à l'origine d'une usure prématurée et d'une détérioration d'un composant ayant entraîné une élévation de la température et son inflammation ;
- Défaut de conception de l'installation étant à l'origine d'un défaut électrique ou ayant conduit à une utilisation en dehors des spécifications d'un composant ;
- Défaut de conception de l'algorithme de contrôle qui a conduit à sortir des plages d'exploitation des composante

Ces hypothèses vous semblent-elles plausibles ? D'autres hypothèses peuvent-elles être avancées compte tenu des constatations faites ?

3- Le système d'extinction automatique proposé (agent extincteur et mode d'application) par le concepteur du container est-il adapté à l'incendie ?

4- Quelles solutions d'extinction peuvent être privilégiées en fonction des types de batteries et de condensateurs ?

5- En vue d'avancer des recommandations en matière de protection des services de secours dans de futures interventions :

- Quelles sont les flux thermiques que peuvent générer l'incendie de ce type d'installation ?
- Est il possible de qualifier la dangerosité des fumées de ce type d'incendie par rapport à un incendie de commerce ou de logistique ?

6- De part sa participation au travaux de normalisation au niveau national et international, l'Ineris peut-il nous apporter des informations sur l'état des travaux en cours dans le domaine de la sécurité des dispositifs de stockage d'énergie ?

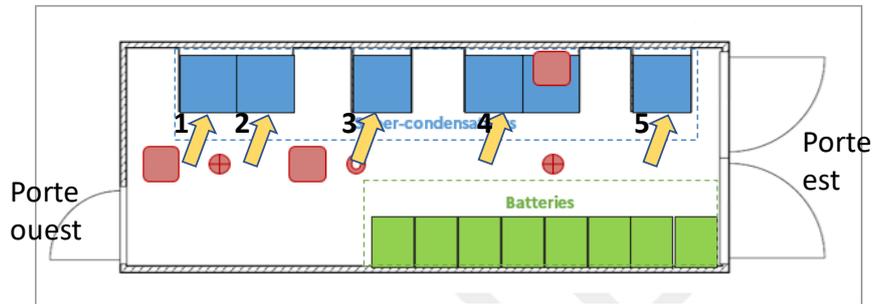
Nous souhaiterions pouvoir disposer de votre retour au plus tard le 31 janvier.

En vous remerciant

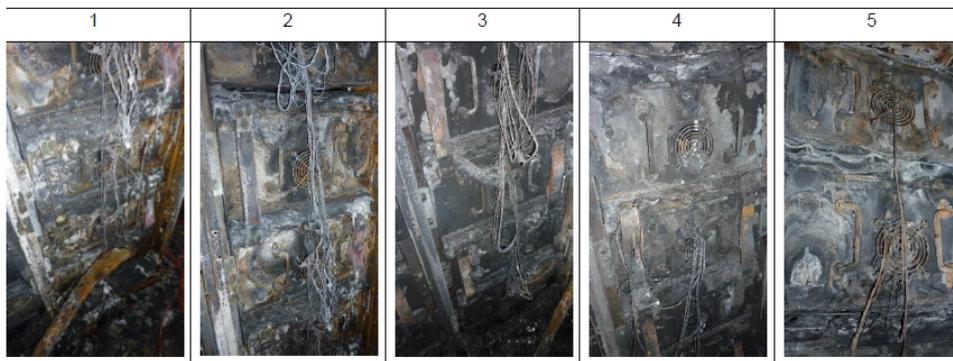
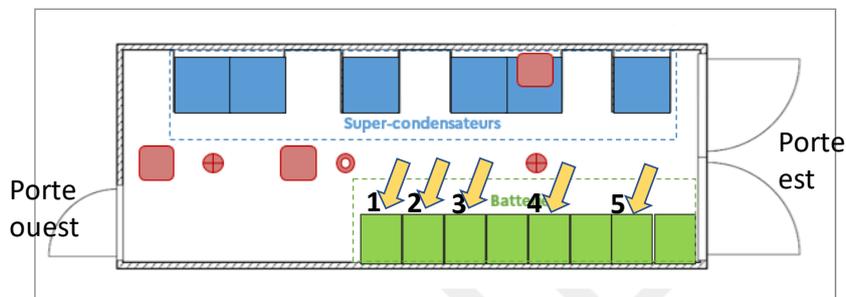
Bien cordialement

Annexe 2 : 10 photos de l'intérieur du container de stockage d'énergie après incendie – 5 côté condensateur et 5 côté batteries

Supercondensateurs



Batteries



Annexe 3 : Spécification technique d'un détecteur multi capteur infra-rouge

ESSER
by Honeywell

Liens utiles | Language | Connexion client | Chercher

Accueil | A propos de... | Produits | Domaines d'application | Connaissances | Les plus | Contact



- Solutions de Sécurité Incendie
- Solutions de Sonorisation
- Extinction
 - DECT et composants
 - DECT ESS-RP1R
 - Détection automatique
 - Supervision
 - Diffuseurs sonores
 - Alimentations

Détecteur multicapteur ES Detect OTblue



Détecteur de fumée multicapteur intégrant un capteur de température.

Il offre une détection précoce même pour les particules fines grâce à sa chambre optique unique utilisant le "Blue principle". Il est parfaitement adapté au remplacement des détecteurs ioniques.

Part-No.: 800375.F
Certification: NF SSI

Caractéristiques | Données techniques | Accessoires | Information additionnelle | Contenu de la livraison

Téléchargements

Détecteurs automatiques conventionnels intelligents. Gamme complète avec détecteurs multicapteurs Lecture du taux d'encrassement et adaptation automatique aux conditions ambiantes Fonctionnement adapté aux tableaux ES Line Jusqu'à 32 détecteurs par zone Compteur intégré de dérangement et alarmes Différenciation facilitée grâce au logo "ES" visible sur chaque détecteur Gamme d'accessoires commune aux détecteurs adressables IO8Quad

Annexe 4 : Spécification technique d'un détecteur thermovélocimétrique



- Solutions de Sécurité Incendie
 - Systèmes conventionnels
 - Équipements de Contrôle et de signalisation
 - Détecteurs Intelligents
 - Détecteurs conventionnels ES DETECT**
 - Accessoires
 - Accessoires pour montage en gaine
 - Déclencheurs manuels
 - Systèmes adressables
 - Centralisateur de Mise en Sécurité Incendie
 - Détecteurs spéciaux
 - Diffuseurs d'évacuation
 - Alimentations
 - Protection

Détecteur Thermovélocimétrique ES Detect



Détecteur automatique de chaleur thermovélocimétrique avec capteur rapide et fiable des feux avec élévation rapide de la température et un seuil fixe intégré même en cas d'élévation lente de la température.

Part-No.: 800271.F
Certification: NF SSI

Caractéristiques | Données techniques | Accessoires | Information additionnelle | Contenu de la livraison

Téléchargements

Détecteurs automatiques conventionnels intelligents. Gamme complète avec détecteurs multicapteurs Lecture du taux d'encrassement et adaptation automatique aux conditions ambiantes Fonctionnement adapté aux tableaux ES Line Jusqu'à 32 détecteurs par zone Compteur intégré de dérangement et alarmes Différenciation facilitée grâce au logo "ES" visible sur chaque détecteur Gamme d'accessoires commune aux détecteurs adressables IQ8Quad

Annexe 5 : Spécification technique d'un générateur d'extinction FP2000



FP-2000

■ FP-2000

Product Code: 10149
Product Description: FirePro Fire Extinguishing Generator FP-2000.

- Features:
- UL, KIWA, BSI, ActivFire Approved
 - Carbon-Steel casing Red-coated

■ FP-2000T

Product Code: 10317
Product Description: FirePro Fire Extinguishing Generator FP-2000T.

- Features:
- Under Process to be UL, KIWA, BSI, ActivFire Approved
 - This model can be activated by a Bulb Thermal Activator.
 - Carbon-Steel casing Red-coated

■ FP-2000S

Product Code: 10392
Product Description: FirePro Fire Extinguishing Generator FP-2000S.

- Features:
- UL, KIWA, BSI, ActivFire Approved
 - Stainless steel casing

■ FP-2000TS

Product Code: 10623
Product Description: FirePro Fire Extinguishing Generator FP-2000TS.

- Features:
- Under Process to be UL, KIWA, BSI, ActivFire Approved
 - This model can be activated by a Bulb Thermal Activator
 - Stainless steel casing

TECHNICAL INFORMATION

Model	FP-2000 / FP-2000S / FP-2000T / FP-2000TS
Activation mechanism	Thermal Electrical (min 1.5V DC, 0.8A in 3-4 sec)
Activator type	Heating element with 2.3 ohm resistance
Current intensity to be tested	Maximum 5 mA
Weight (gross)	15500 g (excluding bracket)
Mass of FPC compound	2000 g
Operational discharge time	10 - 15 seconds
Discharge length	3.5 m
Dimensions	300 mm x 300 mm x 185 mm
Fire class	A, B, C, F

Operating temperatures: -54°C to +54°C | Generators are provided complete with brackets

