

## RETOUR D'EXPERIENCE SUR L'ACCIDENTOLOGIE LIEE AU STOCKAGE DES BATTERIES ELECTRIQUES

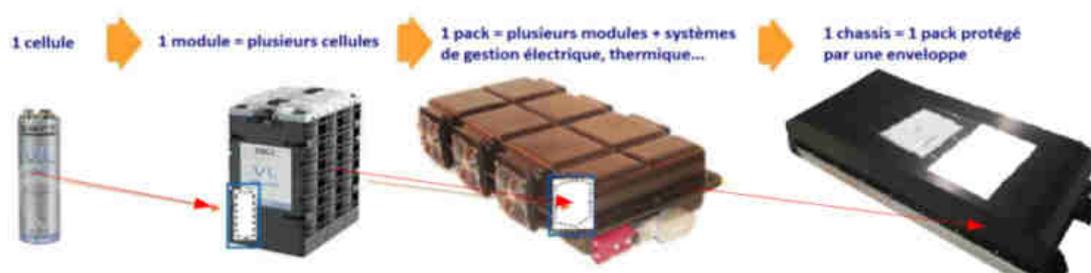
Le projet DESLOG tient compte du retour d'expérience liée à l'accidentologie des batteries électriques. Cette note présente les enseignements des principales études disponibles dans l'optique de mettre en place des mesures de prévention et de sécurité adéquats.

### 1. Type de batteries stockées

Les batteries électrique stockés dans l'entrepôt seront sont les suivantes :

- lithium ion,
- lithium polymère,
- lithium métal polymère (LMP).

#### Constitution d'une batterie :



### 2. Synthèse relative à l'implication des batteries lithium-ion dans l'accidentologie hors secteurs d'activité des déchets (BARPI - janvier 2022)

Cette synthèse établie par le BARPI, s'intéresse à l'accidentologie des batteries hors secteurs d'activités des déchets et hors utilisation par des particuliers et relève 36 événements survenus depuis les années 2000. Parmi les événements retenus, une part importante concerne la fabrication d'équipements électriques et l'industrie automobile. La synthèse est jointe en annexe.

On note que le principal phénomène dangereux identifié lors de ces événements est l'incendie. Il est couplé à deux autres phénomènes : le rejet de matières dangereuses/polluantes et l'explosion de façon minoritaire.

Cette accidentologie permet de cerner les causes principales suivantes : les défauts matériels et les pertes de contrôle de procédé ayant pour effet l'emballement thermique des batteries.

La synthèse ainsi réalisée conclut au fait que l'emballement thermique reste le phénomène le plus redouté. Il a été rencontré au cours des occurrences (occ.) suivantes :

- étapes de fabrication ou de raccordement (3 occ.),
- essais ou tests divers (charge/décharge, court-circuit), échantillons à analyser (8 occ.),
- opérations courantes, par exemple mise en charge, mesure de tension (4 occ.),
- en cours d'utilisation (2 occ.),

- stockage de batteries rebutées (2 occ.),
- manutention (1 occ.),
- agressions externes ou climatiques du fait d'un stockage inapproprié (2 occ.).

#### Enseignements pour le projet DESLOG :

Compte-tenu de l'activité de stockage de batteries faiblement chargés, hors de toute utilisation et d'opération de charge, le risque d'emballement thermique au sein de l'entrepôt reste a priori limité.

Le projet DESLOG prévoit la mise en place des mesures de prévention et de protection à savoir :

- des moyens d'extinction spécifiques en cas d'emballement thermique : extincteurs à eau, RIA et container à immersion pour les batteries lithium, extincteurs AVD (vermiculite aqueuse) pour les batteries LMP (pas d'eau pour les batteries LMP),
- contrôle du stockage et mise à l'écart dans un lieu protégée de toute batterie défectueuse en vue de leur rebutage,
- des mesures organisationnelle de type procédures de travaux par point chaud type (permis feu), plans de prévention appliqués aux entreprises extérieures afin d'empêcher toute source de chaleur pouvant impacter le stockage,
- un plan de défense incendie intégrant les mesures particulières liées au feu de stockage de batteries.

### 3. Rapport d'étude du risque incendie de stockage de batteries dans le cadre de la montée en puissance de la motorisation électrique (ENSOP – janvier 2019)

Ce rapport intègre une synthèse des documents techniques et retours d'expériences sur la thématique. Des éléments de prévention et d'approche opérationnelle sont proposés. On apprend en particulier que **l'utilisation de l'eau pour les batteries LMP est proscrite** en raison de possible réaction violente avec l'eau.

Le rapport est joint en annexe et la conclusion est reproduite ci-après :

*Pour conclure, le risque lié aux batteries lithium est un risque connu. Dans la majorité des cas, un incendie concernant un stockage de batteries n'est pas différent d'un incendie de stockage de matière combustible (emballages, papiers, plastiques, cartons...).*

*Le risque ajouté par un stockage de batteries est celui de l'emballement d'une ou plusieurs unités. L'emballement d'une batterie peut être lié à un défaut de fabrication, à un choc, à un défaut lors de la charge, ou encore lié à un environnement thermique agressif. Ce phénomène se présente sous la forme d'une décharge rapide des accumulateurs, provoquant une autocombustion à fort pouvoir calorifique et fumigène pouvant projeter des gouttes de métal en fusion ou des parties de batterie incandescentes à plusieurs dizaines de mètres. Le phénomène de réaction en chaîne par effet domino est à craindre dans le cas d'un stockage de plusieurs batteries.*

*La locomotion électrique est amenée à se développer fortement et rapidement en France. Déjà, des véhicules électriques légers sont à disposition dans nos métropoles, entraînant de nombreux stockages de batteries. Ce document propose des solutions de maîtrise du risque*

*adaptées aux technologies existantes afin que les sapeurs-pompiers puissent travailler en toute sécurité.*

*Il constitue un référentiel adaptable aux situations rencontrées en opération. Les solutions proposées sont amenées à évoluer avec les nouvelles technologies. Il conviendra d'effectuer une veille des innovations.*

### Enseignements pour le projet DESLOG :

Ce rapport fait état de plusieurs propositions de mesures de prévention. L'intégration de ces propositions au projet DESLOG est décrite dans le tableau suivant :

Mesures	Justification	Intégration au projet
<b>MESURES CONSTRUCTIVES</b>		
Disposer d'une voie engin sur tout le tour	Prévue par la rubrique ICPE 1510, la voie engin faisant le tour du bâtiment permet d'attaquer une cellule par différents angles. Elle peut être complétée par des aires de mises en station des échelles aériennes permettant le stationnement de moyens aériens.	La mesure est prévue. De plus le site dispose d'une aire de retournement au sud Est.
Recouper le bâtiment par activités et/ou par volumes. Le recoupement se fera au moyen de mur REI 120. L'accès se fera au moyen de portes REI 120 munies de ferme-porte ou d'un sas composé de deux portes REI 60 munies de ferme-porte.	Les risques sont différents selon les activités exercées. Diviser les volumes permet de réduire l'ampleur du sinistre. Cette séparation permet de limiter tant les quantités que les effets dominos.	La mesure est prévue. Les cellules de stockage sont recoupées par des murs REI 120. Les locaux de charge de batteries des engins de manutention sont isolés par des murs REI 120.
Disposer d'une zone de stockage des batteries défectueuses, indépendante des autres bâtiments.	Réduction du risque à la source.	Une zone sera dédiée aux batteries défectueuses.
Equiper le site d'une rétention des eaux d'extinction dimensionnée au moyen du document technique D9A.	Limiter le risque de pollution de l'environnement. Les eaux d'extinction pourront être réutilisées pour traiter le sinistre.	Le confinement des eaux d'extinction est intégré au projet en respect de la D9A.
<b>EQUIPEMENTS DE SECURITE</b>		
Défendre les zones de stockage par un équipement d'extinction automatique de type « sprinklage » asservi à une détection optique.	Refroidissement précoce des batteries environnantes pour limiter les effets domino. Un système d'extinction automatique à déclenchement thermique interviendrait trop tardivement.	Une détection incendie optique linéaire sera installée. L'étude de flux thermique montre l'absence de propagation entre les cellules (durée incendie inférieure à la tenue au feu des murs REI 120).
Disposer d'un organe de coupure électrique situé à l'extérieur des locaux à risque.	Assurer la sécurité des intervenants.	Cette mesure est prévue.

Mesures	Justification	Intégration au projet
<b>MESURES CONSTRUCTIVES</b>		
Dimensionner le désenfumage par une étude d'ingénierie de désenfumage.	Désenfumer les volumes sinistrés permet de faciliter l'intervention des secours et de limiter la propagation de l'incendie.	Le désenfumage de l'entrepôt respecte la réglementation et est dimensionné en conséquence.
Disposer d'un système de canalisation de la surpression des gaz.	Les volumes importants de gaz et de fumée générés par un emballage de batterie peuvent provoquer une surpression. Celle-ci doit être prise en compte dans l'étude de désenfumage.	L'emballage d'une batterie n'est pas susceptible de générer une surpression étant donné le volume important des cellules. Le désenfumage de l'entrepôt respecte la réglementation et est dimensionné en conséquence.
<b>MESURES ORGANISATIONNELLES</b>		
Stocker tout élément lithium (cellules, batteries) à plat ou sur deux niveaux maximum, en dessous de 1,80 mètres de haut.	Limiter les effets domino, conserver une accessibilité optimale pour permettre une attaque offensive et le noyage des packs batteries.	Le stockage est compatible avec son environnement à (cf. étude des flux thermiques INERIS jointe au dossier).
Disposer de bacs d'eau permettant l'immersion d'un module ou d'une batterie en défaut.	Ce dispositif permet le refroidissement, l'isolement, et le noyage d'une batterie endommagée.	La mesure est prévue. Deux containers d'immersion remplis d'eau seront situés en extérieur. Lors de la détection d'un phénomène d'emballage thermique au sein d'une palette, celle-ci sera manutentionnée et plongée dans le container. Le personnel sera formé en conséquence.

## ANNEXES

Synthèse

Janvier 2022

# Implication des batteries Lithium-ion dans l'accidentologie hors secteurs d'activités des déchets



Crédits photos : SDIS 31,  
SDIS 09, SDIS 86

# Sommaire

1- INTRODUCTION.....	4
2- PRÉSENTATION DE L'ÉCHANTILLON EXAMINÉ.....	5
3- FONCTIONNEMENT D'UNE BATTERIE LITHIUM-ION.....	6
4- LES ACTIVITÉS IMPLIQUÉES DANS LES ÉVÉNEMENTS DE L'ACCIDENTOLOGIE.....	7
5- LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX.....	8
6- LES CONSÉQUENCES.....	9
7- LES PERTURBATIONS AVÉRÉES OU SUPPOSÉES .....	11
8- LES CAUSES AVÉRÉES OU SUPPOSÉES .....	17
9- LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS .....	18

# INTRODUCTION

Omniprésentes dans nos sociétés connectées, dynamisées par l'essor des nouvelles mobilités et le stockage de l'énergie, les piles et batteries<sup>1</sup> lithium-ion (Li-ion) sont l'objet d'une demande en constante augmentation (+128 % des tonnages mis sur le marché en France entre 2019 et 2020 selon l'ADEME<sup>2</sup>).

Le BARPI s'était par le passé intéressé à l'accidentologie des piles et accumulateurs pour répondre à une demande du Conseil Supérieur de la Prévention des Risques Technologiques (CSPRT) en 2011 (disponible [ici](#)). Puis, en 2018, un focus spécifique sur les risques associés au traitement ou recyclage des piles et accumulateurs au lithium en fin de vie avait été publié (disponible [ici](#)).

Dans cette synthèse, le BARPI analyse l'ensemble des événements impliquant des batteries Li-ion depuis les années 2000 et survenus hors secteurs d'activités des déchets et hors utilisation par des particuliers (téléphonies et ordinateurs portables, électromobilité...). Ainsi, la présente synthèse détaille l'accidentologie survenue durant les étapes du cycle de vie de ces batteries : depuis leur étude, leur conception, leur utilisation et leur stockage sur site avant départ vers les installations de déchets.

L'accidentologie impliquant des batteries Li-ion sur des sites industriels ou assimilés suit-elle l'évolution à la hausse de leur mise sur leur marché ?

Quels sont les phénomènes dangereux et les conséquences des événements impliquant des batteries Li-ion recensés dans la base de données ARIA ?

Ces événements ont-ils de lourdes conséquences humaines, sociales, économiques et environnementales ?

Des tendances et/ou enseignements peuvent-ils être tirés de l'analyse de ces événements ?

Si ces batteries occupent une place prépondérante dans notre quotidien et peuvent être plébiscitées pour l'accélération de la transition écologique, cette synthèse rappelle que, comme tout équipement industriel, leur usage n'est pas sans risque.



© Arnaud Boissou / Terra

<sup>1</sup> Assemblage d'accumulateurs couplés pour obtenir un voltage supérieur ou une plus grande réserve d'énergie. Le terme de batterie est volontairement utilisé plutôt qu'accumulateur dans le reste du document.

<sup>2</sup> Piles et accumulateurs : données 2020 - Rapport annuel de la filière (base des éléments recueillis via le Registre national des producteurs de Piles et Accumulateurs)

# PRÉSENTATION DE L'ÉCHANTILLON EXAMINÉ

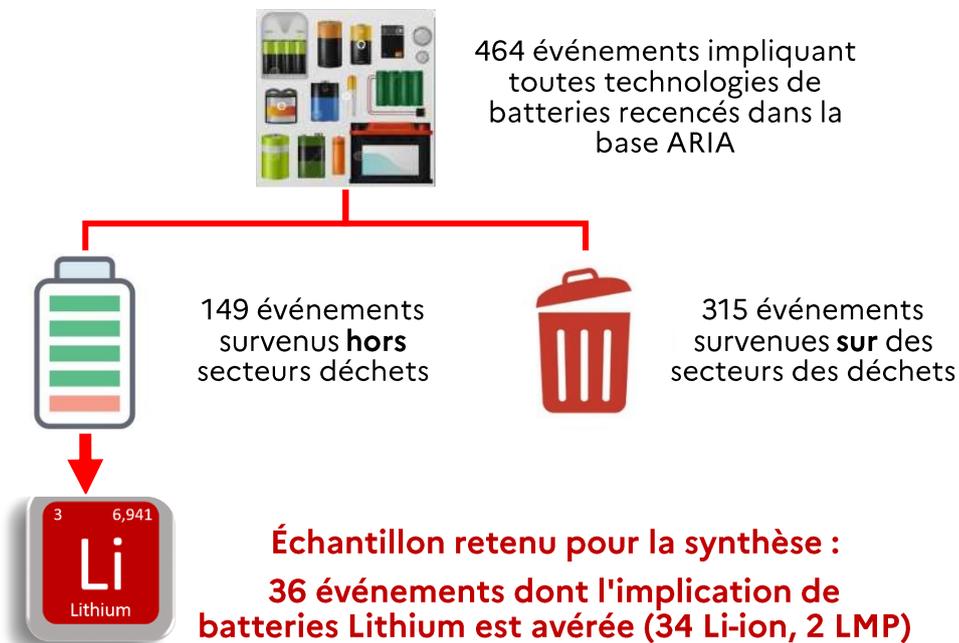


L'analyse présentée porte sur l'accidentologie contenue dans la base ARIA impliquant des batteries Lithium survenus hors secteurs d'activités des déchets<sup>3</sup> et hors utilisation par des particuliers (téléphonies et ordinateurs portables, électromobilité...) en France et à l'étranger. La majorité de l'échantillon concerne des batteries Li-ion, mais 2 événements impliquant des batteries Lithium Métal Polymère (LMP) ont été conservés. Si les phénomènes dangereux et conséquences sont similaires, il a été jugé pertinent de faire figurer ces événements afin de distinguer les techniques d'intervention lors d'un incendie (recours ou non à l'eau).

Cette synthèse concerne ainsi 36 événements survenus depuis les années 2000 dont 3 à l'étranger<sup>4</sup>. Parmi les 33 événements français constituant l'échantillon analysé, 15 (45%) sont qualifiés d'accidents (aucun accident majeur au sens de la directive Seveso 3).

Comme indiqué en introduction, n'ont pas été retenus 428 événements impliquant des piles, batteries, accumulateurs ou condensateurs d'une autre technologie que celle au lithium, ou pour lesquels le BARPI n'a pas l'information de la technologie de batteries impliquées :

- 315 événements survenus sur des secteurs d'activités des déchets<sup>5</sup> ;
- 113 événements survenus hors secteur d'activités des déchets.



<sup>3</sup> Exclusion des événements dont l'acteur principal est un exploitant enregistré sous la nomenclature des activités françaises (NAF) commençant par 38 : installations de collecte, traitement et élimination des déchets ; récupération.

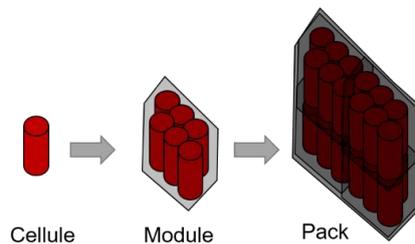
<sup>4</sup> Données extraites de la base ARIA au 06/01/2022

<sup>5</sup> 27 événements pour lesquels l'implication de batteries Li-ion est avérée

# FONCTIONNEMENT D'UNE BATTERIE LITHIUM-ION

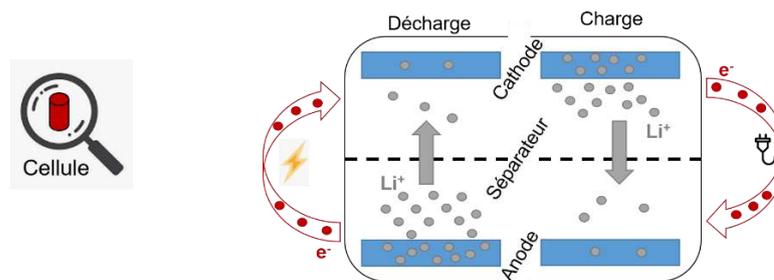
Des travaux d'études ont débuté dans les années 1970 et la première batterie Li-ion a été commercialisée dans les années 1990. Le prix Nobel de chimie 2019 a été attribué aux 3 chercheurs qui l'ont mise au point. La batterie Li-ion est à l'origine d'une révolution industrielle et technologique<sup>6</sup> dans le domaine de l'énergie et du stockage.

Les batteries rencontrées dans le milieu industriel sont un assemblage de cellules<sup>7</sup> connectées en parallèle et/ou en série constituant des modules, eux-mêmes connectés en parallèle et/ou en série pour former un pack (munis de systèmes de gestion<sup>8</sup>). Plusieurs milliers de cellules sont connectées pour fournir la capacité d'un pack batterie d'une voiture électrique (~ 70 kW.h) là où une seule est suffisante pour les smartphones :



Comme tout générateur électrochimique, le fonctionnement d'une batterie Li-ion repose sur la création de courant électrique au cours de réactions d'oxydo-réduction survenant au sein de chaque cellule. Une cellule est constituée d'une électrode positive (anode<sup>9</sup>), d'une électrode négative (cathode<sup>10</sup> séparée de l'anode pour éviter un court-circuit), toutes deux plongées dans un électrolyte conducteur d'ions<sup>11</sup> et reliées entre elles, à l'extérieur par un fil conducteur.

Lors de la décharge : l'anode émet des électrons via le fil conducteur vers la cathode, constituant un courant électrique. Au travers de l'électrolyte, un échange d'ions positifs s'effectue de la cathode vers l'anode. Les réactions sont inversées lorsque la batterie est rechargée par un apport extérieur d'électricité.



<sup>6</sup> D'autres technologies prometteuses de batterie sont à l'étude et/ou déjà commercialisées suivant les applications : zinc-air, sodium-ion, sodium-soufre, lithium-Soufre...

<sup>7</sup> Dans le schéma, la cellule est représentée arbitrairement sous forme cylindrique, elle peut être également souple ou prismatique.

<sup>8</sup> BMS « Battery Management System » pilotant les performances et la sécurité du pack batterie via des capteurs de température, de tension et de courant.

<sup>9</sup> Généralement du graphite

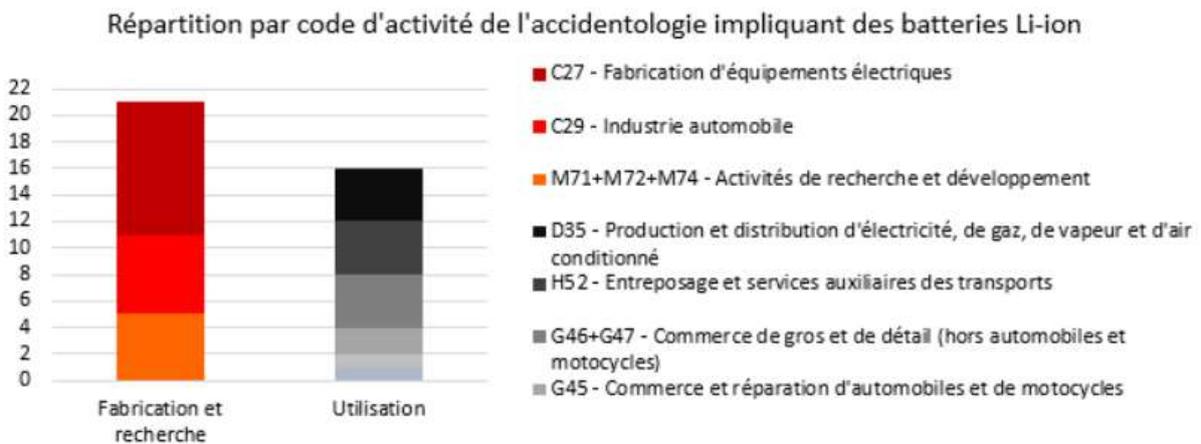
<sup>10</sup> Généralement du fer, du manganèse, du dioxyde de cobalt ou du nickel

<sup>11</sup> Les événements présentés dans cette synthèse font référence à des électrolytes exclusivement liquides composés d'un solvant organique et d'un sel conducteur, en général de l'hexafluorophosphate de lithium (LiPF<sub>6</sub>).

# LES ACTIVITÉS IMPLIQUÉES DANS LES ÉVÉNEMENTS DE L'ACCIDENTOLOGIE

Deux types d'activités peuvent être distingués vis-à-vis de l'implication des batteries Li-ion dans l'accidentologie : celles qui fabriquent ou réalisent des essais sur des batteries Li-ion, et celles qui les emploient en qualité d'équipements.

Les activités<sup>12</sup> de fabrication ou de recherche et développement concentrent plus de 60 % des événements français de l'échantillon (21 événements sur 33).



Il est à noter que si l'ensemble des événements français de l'échantillon se sont produits dans le domaine industriel (ou de recherche), ils ne sont pas tous survenus sur des installations soumises à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). 13 événements se sont ainsi produits sur des installations non soumises (4 sur des sites de fabrication, 9 sur des sites utilisateurs de batteries Li-ion). Concernant les installations soumises au régime ICPE<sup>13</sup>, aucun n'est survenu sur des installations dites Seveso ou relevant du régime de l'enregistrement.



<sup>12</sup> Codes issus de la nomenclature d'activités française

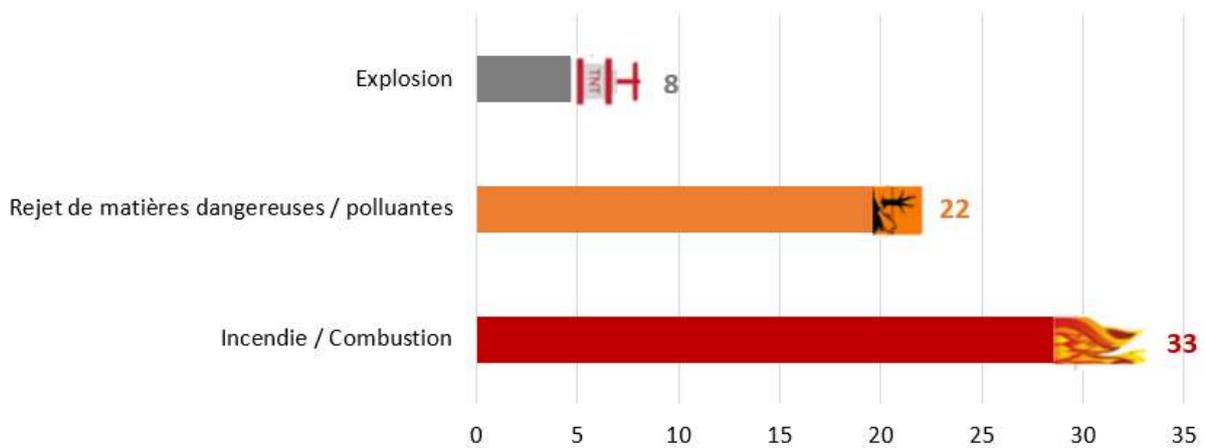
<sup>13</sup> Le régime retenu pour ces sites n'a pas forcément été déterminé par la rubrique 2925 (Ateliers de charge d'accumulateurs) de la nomenclature ICPE.

# LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX

Les phénomènes dangereux identifiés dans les événements de l'échantillon impliquent directement les batteries, sauf pour ARIA [54498](#) où il n'a pas été mis en évidence si les batteries en sont à l'origine ou ont été un élément aggravant et ARIA [54866](#) où l'incendie a pris naissance dans une partie du site pour ensuite se propager au local de stockage de batteries, complexifiant l'intervention des secours.

Dans le graphique ci-dessous, plusieurs phénomènes peuvent être observés lors d'un même événement. Concernant le phénomène «rejet de matières dangereuses/polluantes», d'autres produits, en plus des éléments constitutifs des batteries, ont pu intervenir.

Répartition des événements par phénomène



L'incendie est le phénomène prédominant. Il est couplé à des explosions pour 5 événements, tandis que l'événement « explosion » seul (sans incendie) intervient dans 3 explosions. L'emballement thermique de la batterie (cf chapitre 7 « Perturbations avérées ou supposées ») entraîne le dégagement de gaz inflammables, pouvant résulter en une fuite de gaz enflammée (ARIA [54822](#), [54261](#)).

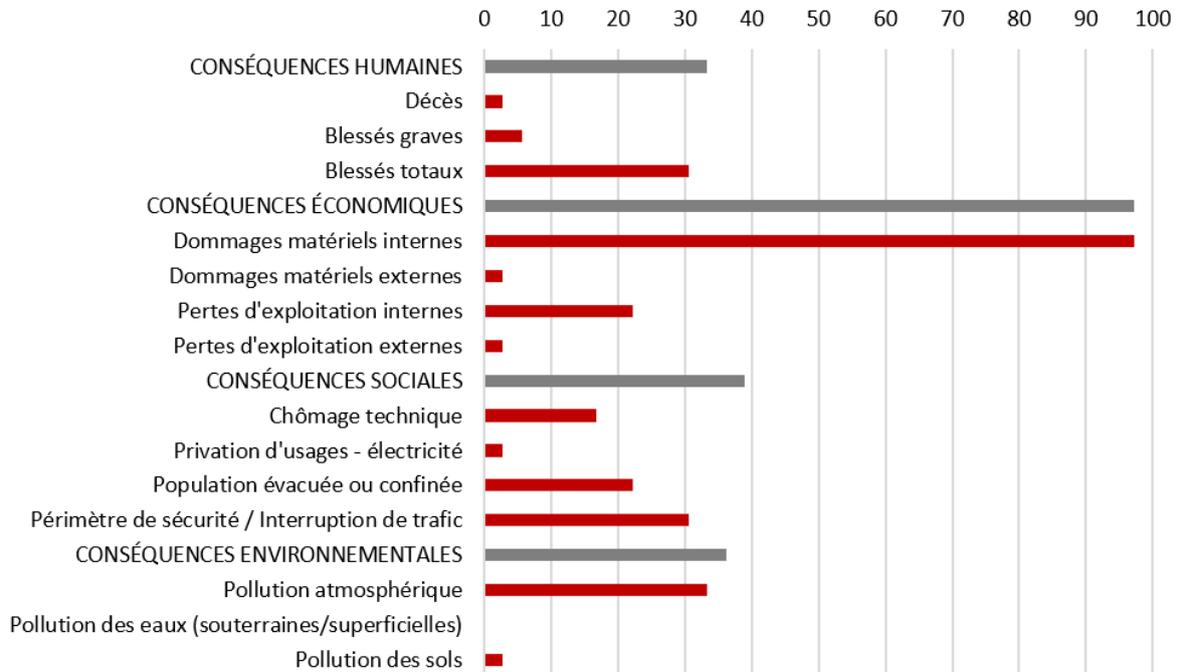
La majorité des rejets de matières dangereuses/polluantes est associée à un impact sur le milieu air (et sol pour 2 d'entre eux) en lien avec les fumées d'incendie. Pour cette catégorie d'événement, le BARPI n'a eu connaissance que d'un seul rejet<sup>14</sup> qui n'a pas été la conséquence d'un incendie ou d'une explosion. Pour autant, la présence d'acide fluorhydrique dans la composition des électrolytes et son action corrosive sur les métaux en présence d'eau peut entraîner un dégagement d'hydrogène, source d'incendies ou d'explosions. C'est un facteur à prendre en considération en plus de la toxicité de l'acide fluorhydrique qui se retrouve dans les fumées émises lors d'un incendie.

<sup>14</sup> ARIA [57677](#)

# LES CONSÉQUENCES

Le graphique ci-dessous présente la synthèse des conséquences des événements impliquant des batteries Li-ion.

Synthèse des conséquences exprimées en pourcentage



Ce graphique met en évidence des conséquences dans chacun des événements de l'échantillon, que ce soit, pour tout ou partie, sur le plan humain, social, économique et/ou environnemental. Des précisions sont apportées ci-dessous, avec des exemples, non exhaustifs d'événements.

Concernant les conséquences humaines dues directement aux batteries :

- 1 seul décès est recensé (ARIA [56894](#)). Il est survenu dans une installation hors ICPE, lors d'une explosion de batteries Li-ion dans un cabanon de camping. Ces batteries servaient au fonctionnement de voiturettes électriques ;
- des blessés graves sont recensés :
  - lors des événements mêlant incendie et explosions, aussi bien au niveau des opérateurs (ARIA [54703](#)) que des intervenants des opérations de secours (ARIA [54822](#) : 4 pompiers projetés par l'explosion dans un système de stockage d'énergie – ESS, ARIA [49708](#) : électrisation durant l'intervention) ;
  - lors d'une fuite d'électrolyte liquide (ARIA [57677](#)) du fait du caractère corrosif du produit.

Les blessés totaux du graphique comptabilisent les blessés graves et légers (passage aux urgences de moins de 24 h), du fait notamment d'incommodations par inhalation des fumées<sup>15</sup>. La majorité des incendies de l'échantillon font état de panache important de fumées (ARIA [54742](#), [54498](#), [17385](#)), parfois accentué par l'inexistence ou l'inefficacité de dispositif de sécurité incendie (ARIA [54538](#), [56442](#), [54261](#)). Ce constat sur les dispositifs de sécurité incendie tend à expliquer l'importance des conséquences économiques internes pour les sites industriels. Concernant les conséquences sociales, de nombreux incendies ont occasionné des mesures de précaution telles que le confinement ou l'évacuation du personnel mais aussi, pour certains, de riverains (ARIA [58361](#), [50643](#), [56442](#)).

<sup>15</sup> Si les batteries sont bien impliquées dans les incendies de l'échantillon, les nuisances peuvent être la combinaison de l'ensemble des produits du site pris dans l'incendie.

Concernant les conséquences environnementales, les fumées d'incendie peuvent être polluantes et potentiellement dangereuses pour la santé en raison des substances qui les composent. Dans les événements français considérés et lorsqu'elles ont été réalisées, les mesures n'ont pas mis en évidence certaines substances caractéristiques des batteries Li-ion dans la matrice air<sup>16</sup> (exemple des mesures réalisées : ARIA [54498](#)).

Un événement américain (ARIA [54822](#)) a relevé le dégagement de cyanure d'hydrogène (HCN).

L'événement ci-dessous illustre les prélèvements atmosphériques recommandés pour permettre l'évaluation et la gestion des impacts sanitaires et environnementaux d'un incendie impliquant des batteries Li-ion.

## Incendie dans un bâtiment abritant des batteries lithium-ion

### ARIA 54498 – 08/10/2019 – Villeurbanne (69)

*Naf 47.91 : Vente à distance*

Vers 7 h, un feu se déclare dans un bâtiment de 10 000 m<sup>2</sup> accueillant 55 start-up dont une spécialisée dans le reconditionnement de batteries de vélo au lithium. Les secours mettent en place un périmètre de sécurité de 50 m. La circulation sur le périphérique à proximité est bloquée pendant un temps. Les pompiers protègent une installation classée voisine de 70 m. En raison des fumées, les enfants sont confinés dans les écoles à proximité avant levée de doute quant à la toxicité du panache. Les pompiers circonscrivent l'incendie vers 9h30 et le maîtrisent vers 11h15. Un épais panache de fumée noire est visible sur tout l'est de l'agglomération lyonnaise.

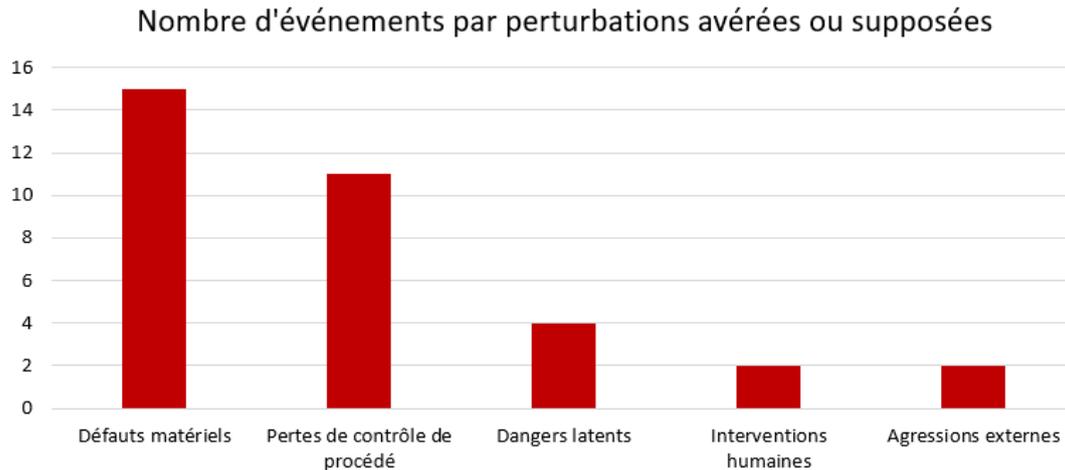
Les résultats des mesures effectuées pendant l'incendie sur les polluants prélevés (ammoniac, acide chlorhydrique, hydrogène sulfuré, dichlore, monoxyde de carbone, monoxyde d'azote, acide cyanhydrique) n'indiquent aucune valeur atypique sur le site. À la demande des services de l'Etat, l'association de surveillance de la qualité de l'air régionale déploie un dispositif en complément de l'observatoire permanent de surveillance, pour mesurer les concentrations de polluants dans l'air et dans les retombées sur le territoire susceptible d'être impacté par l'incendie. Si certains polluants nécessitent une analyse différée en laboratoire (dioxines/furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques, éléments traces métalliques, composés organiques volatils), après prise d'échantillon, d'autres sont mesurés par des analyseurs automatiques, ce qui permet de connaître leur concentration en temps réel, notamment les particules, le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote. Une élévation ponctuelle des taux de particules dans l'air est relevée le jour de l'incendie sur plusieurs sites de l'agglomération lyonnaise, sans toutefois que le seuil d'information et de recommandations, fixé à 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière, n'ait été dépassé. Concernant d'autres polluants ayant pu être émis, à savoir le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et l'ammoniac, aucune valeur atypique n'a été mesurée. Concernant les composés organiques volatils, les résultats issus des prélèvements effectués entre le jour de l'incendie et le lendemain, ne mettent en évidence aucune valeur atypique.

L'incendie détruit 5 000 m<sup>2</sup> du bâtiment. Les 500 m<sup>3</sup> d'eaux d'extinction sont traitées par les stations d'épuration du secteur.

<sup>16</sup> L'INERIS, via sa cellule d'appui aux situations d'urgences (CASU), recommande, au titre de sa mission d'appui aux pouvoirs publics, que soient réalisés les prélèvements suivant dans la matrice air en cas de combustion de « piles » (batteries Pb/ Li /Ni-Cd) avec emballages plastiques : HCN, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HF, HBr, HCl, H<sub>2</sub>, screening métaux, BTEX, HAP, PCDD/F

# LES PERTURBATIONS AVÉRÉES OU SUPPOSÉES

Le taux de connaissance des perturbations avérées ou supposées concernant les événements étudiés s'établit autour de 61 %



L'analyse des perturbations montre la prédominance des défauts matériels, suivie des pertes de contrôle de procédé, qui correspond ici au phénomène d'emballement thermique. Plusieurs perturbations peuvent survenir pour un même événement. Ainsi, par exemple, tous les emballements thermiques sont survenus à la suite de défauts matériels, qui ont pu eux-mêmes trouver leur origine dans une intervention inadaptée ou une agression externe.

## La perte de contrôle de procédé : l'emballement thermique

Quel que soit le type de batteries Lithium, dès lors que celles-ci sont sollicitées en dehors de leur plage de fonctionnement nominal (conditions électriques, thermiques et mécaniques), un emballement thermique d'une cellule est susceptible de survenir. Un système de gestion de batterie (BMS pour « Battery Management System») a pour rôle de maintenir le pack batterie dans les conditions électriques et thermiques compatibles avec sa plage d'utilisation sûre. Si le BMS fait défaut, les réactions chimiques mises en jeu lors d'un emballement thermique d'une cellule engendrent une élévation exponentielle de la température et une montée en pression interne par dégagement de vapeurs d'électrolyte. Des gaz toxiques et inflammables sont libérés par l'ouverture ou l'explosion de l'enveloppe de la cellule. La température générée est telle qu'elle peut gagner les autres éléments du pack (cellules et modules voisins), alimentant la propagation de l'emballement thermique à l'ensemble du système. Le pack, muni ou non d'une soupape de sécurité peut être amené à exploser. Sans isolement des éléments impactés, la ré-inflammation d'un pack batterie Li-ion est possible, même après 24h.

En présence de batteries Li-ion, la solution d'immersion dans l'eau de la batterie est la solution couramment utilisée par les services d'intervention, tandis qu'en présence de batteries LMP (feu de métaux avec projections de particules de métal en fusion), le recours à l'eau est proscrit. Les pompiers, jugeant leur extinction impossible et contre-productive (augmentation du temps de combustion, production accrue de fumées et de vapeurs et projection importante de particules de métal en fusion) laissent brûler pour se concentrer sur la protection des personnes, des biens et de l'environnement.



ARIA 48170 - Combustion sous surveillance, sans agent d'extinction. Projections de métal en fusion lors d'un incendie de batteries LMP



ARIA 54261 Solution d'immersion à la suite d'un emballement thermique d'une batterie Li-ion

Certaines situations peuvent conduire directement à un emballement thermique alors que d'autres ne vont pas le déclencher directement mais seront suffisantes pour dégrader les éléments internes de la batterie. Si ces éléments ne sont alors pas réparés, l'emballement thermique sera susceptible d'apparaître durant la vie de la batterie.

L'événement ci-après illustre la cinétique d'un emballement thermique et son potentiel de départ après survenue d'un défaut.

### Feu de batterie électrique dans un centre d'essai

#### ARIA 50033 – 21/07/2017 – Verneuil-en-Halatte (60)

Naf 71.20 : Activités de contrôle et analyses techniques

À 18h20, un feu se déclare dans une cellule d'essai thermique de 14 m<sup>2</sup> d'un centre d'essais industriels.

Un essai de court-circuit sur une batterie lithium-ion démarre à 14h30 dans la cellule. Durant l'essai, la température monte à 400 °C. Celui-ci prend fin à 15h30. À 17 h, la température descend en dessous de 50 °C. L'essai prévoit un monitoring de plusieurs paramètres pendant 24 h : mesures en continu de la température, tension et teneur en gaz. Un enregistrement vidéo de la cellule permet de déterminer la chronologie de l'événement. Un emballement thermique de la batterie se produit à 18h07. L'incendie démarre à 18h20, entraînant le déclenchement de la détection incendie à 18h45. L'exploitant coupe les énergies de l'établissement. Les pompiers éteignent le sinistre. Le caisson de batteries est évacué à l'air libre. Le local est ventilé. [...]

L'emballement s'est produit 2h30 après la fin de l'essai alors que la température, 1h30 après l'essai, était inférieure à 50 °C.

Ci-dessous, des événements tirés de l'échantillon illustrent les situations ayant conduit directement à un emballement thermique :

- Défaillance interne d'un élément ayant conduit à son court-circuit :

## Explosion dans un conteneur d'un système de stockage d'énergie (ESS)

### ARIA 54822 – 19/04/2019 – Surprise (États-Unis)

[...] Vers 17 h, alors que les modules sont chargés à 90 %, le système relève une chute anormale de tension des cellules d'un module, accompagnée d'une élévation de température de 10 °C en moins d'une minute. La détection de fumée déclenche l'ouverture du système d'extinction (solution gazeuse stockée sous pression). [...] Les pompiers prennent connaissance du plan d'intervention d'urgence de l'exploitant. Aucune recommandation relative à un emballement thermique en cascade, un incendie ou des informations sur le potentiel d'un risque d'explosion n'y est mentionnée. Les pompiers attendent que la température à proximité de l'ESS ainsi que les concentrations en cyanure d'hydrogène (HCN) et monoxyde de carbone (CO) diminuent. Le conteneur ne dispose d'aucun moyen de ventilation manœuvrable à distance. Vers 20 h, du fait de la baisse des concentrations de gaz, les pompiers ouvrent l'une des 2 portes du conteneur. À l'intérieur, la température est de 40 °C, sans feu actif ni arc visible. Soudain, une violente explosion, accompagnée de flammes de plus de 20 m de long et 6 m de haut, se produit à l'extérieur de l'ESS par la porte. Après l'explosion, aucun feu n'est détecté dans l'ESS. L'explosion arrache la porte en métal du conteneur et propulse certains pompiers à plus de 20 m de l'ESS. Huit pompiers sont blessés, dont 4 grièvement, ainsi qu'un policier légèrement.

L'origine de l'emballement thermique est un défaut interne d'une cellule. Si l'agent extincteur utilisé permet l'extinction d'un départ de feu, il ne peut empêcher l'emballement thermique en cascade aux autres cellules, modules et racks. L'accumulation des gaz et vapeurs inflammables émis lors de l'emballement thermique en cascade dans l'ESS confiné, associée à l'apport d'oxygène lors de l'ouverture du conteneur et la rencontre avec une source de chaleur ou une étincelle, ont pu réunir les conditions de l'explosion. Il n'existait pas de procédure d'urgence relative aux opérations d'extinction, de ventilation et d'entrée dans le conteneur pour les pompiers.



© UL Firefighter Safety Research Institute Columbia

ARIA 54822 - Nuage de couleur blanche/grise et d'odeurs âcres entre 60 cm et 1 m du sol



© UL Firefighter Safety Research Institute Columbia

ARIA 54822 – Arrachement de la porte de l'ESS à la suite de l'explosion, propulsant certains pompiers à plus de 20 m

- Exposition à une température environnante trop importante<sup>17</sup> : l'événement ci-après illustre l'emballement thermique en chaîne du fait de l'élévation de la température après un premier emballement sur une batterie, au sein d'un milieu confiné.

## Incendie dans un container de chargement de batteries Lithium-ion

### ARIA 54538 – 17/10/2019 – Colomiers (31)

*Naf 52.21 : Services auxiliaires des transports terrestres*

Vers 16h30, un feu se déclare dans un conteneur de 13 m<sup>2</sup> utilisé pour la recharge de batteries Lithium-ion de vélos électriques dans l'entrepôt d'un opérateur de vélos en libre-service.

Le conteneur est muni de 8 chariots sur chacun desquels reposent 12 batteries en cours de chargement. Le conteneur est situé à plus de 25 m de l'entrée principale de l'entrepôt où sont stockés des scooters et vélos électriques, des batteries d'autres technologies ainsi que du matériel divers (pneus, pièces mécaniques...). À l'arrivée des pompiers, l'ensemble du personnel de l'entrepôt a été évacué, l'alimentation électrique coupée et les exutoires de l'entrepôt ont été refermés pour une raison inconnue. Les fumées sont très importantes en plafond bas (inefficacité des « skydômes » présents) et des explosions sont entendues. Ni l'entrepôt, ni le conteneur ne sont munis de système d'extinction automatique. Lors de l'ouverture de la porte du conteneur, plusieurs explosions et projections surviennent. Les pompiers et l'entrepôt ne disposent pas de moyens de noyage et/ou d'immersion. Les pompiers décident de refermer la porte et de réaliser, à l'aide de disqueuse, un accès en haut des portes du conteneur afin de pouvoir y passer des lances incendies. L'extinction est difficile et le feu est auto-entretenu par la reprise de combustion spontanée des batteries en fusion, engendrant des projections de matières. Les batteries étant sur des chariots roulants, les pompiers entreprennent leur déplacement vers l'extérieur de l'entrepôt. Des torchères depuis les batteries sont visibles.

Les pompiers assurent le refroidissement des batteries à l'extérieur de l'entrepôt.

14



ARIA 54538 – Mise en charge des batteries Li-ion avant sinistre



ARIA 54538 – Incendie à la suite d'un emballement thermique d'un élément et propagation aux autres batteries.

<sup>17</sup> 75 à 100 °C environ selon la littérature

- Contraintes mécaniques (choc, accident) ayant conduit à un court-circuit interne ou externe de la batterie :

### Incendie dans un centre de coliposte

#### ARIA 49658 – 12/05/2017 – Moissy-Cramayel (77)

*Naf 52.10 : Entreposage et stockage*

À 2h30, un feu se déclare sur un colis contenant des batteries d'outillage dans un entrepôt de 33 000 m<sup>2</sup> stockant des colis postaux (autorisation 1510). Une épaisse fumée est visible suivie d'un violent embrasement. L'alerte est déclenchée manuellement. Le trieur est arrêté, le personnel est évacué. À l'arrivée des pompiers, l'incendie est déjà maîtrisé par le personnel à l'aide d'extincteurs à poudre. Ils ouvrent les trappes de désenfumage. Le sinistre entraîne une perte d'exploitation de 20 000 colis triés.

Un pack de batteries lithium-ion composé de 156 cellules est à l'origine du départ de feu. Certaines cellules de ce pack se sont violemment enflammées suite à leur chute sur le tapis d'un retourneur conteneur. Une dizaine de secondes après la chute, les flammes atteignaient plus de 3 m de haut.

- Exposition aux conditions météorologiques :

### Fumées dans une entreprise de stockage de batteries

#### ARIA 54742 – 25/11/2019 – Pegomas (06)

*Naf 46.49 : Commerce de gros d'autres biens domestiques*

Un dégagement important de fumées s'échappe d'un site de stockage de batteries. Les pompiers étouffent les flammes au moyen de ciment prélevé sur place. Une société spécialisée prend en charge 40 batteries dans des fûts adaptés. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place et touche 8 entreprises.

L'origine de la fumée est due à l'échauffement des batteries au lithium suite à une réaction exothermique. Cette réaction, consécutive aux fortes pluies survenues les jours précédents, a été provoquée par une entrée en contact avec de l'eau des batteries stockées à l'extérieur.

- Surcourant de charge/décharge, surcharge, décharge profonde :

### Feu dans une usine de construction automobile

#### ARIA 36215 – 27/05/2009 – Aniche (59)

*Naf 29.10 : Construction de véhicules automobiles*

Un feu se déclare vers 1h30 dans une usine de 8 000 m<sup>2</sup> fabriquant des véhicules automobiles ; l'alarme incendie se déclenche. La cinquantaine de pompiers mobilisés maîtrise le sinistre vers 2h30 avec 10 lances à débit variable dont 5 sur échelles, puis éteint les foyers résiduels [...] Une surveillance est mise en place et des rondes sont effectuées durant la journée. La halle de production de 5 000 m<sup>2</sup>, qui abritait les machines-outils et des véhicules neufs, est détruite. Le hall "carrosserie" et la partie administrative de l'établissement sont préservés des flammes ; les 26 employés de l'entreprise sont en chômage technique.

Un court-circuit ou une surchauffe sur une batterie au lithium d'un véhicule en cours de fabrication, mise en charge durant la nuit, serait à l'origine de l'incendie.

- Facteurs aggravants/dangers latents: une technique d'intervention inadaptée sur un emballement thermique peut aggraver la situation et conduire à un nouveau phénomène dangereux :

### Emballement d'une batterie au lithium dans une usine automobile

#### ARIA 46083 – 29/12/2014 – Viry-Chatillon (91)

*Naf 29.10 : Construction de véhicules automobiles*

Une batterie lithium-ion est à l'origine d'un violent départ de feu dans une usine automobile. Suite au constat par un opérateur de la hausse anormale de température de la batterie au moment de sa mise en place sur son moyen d'essai, la batterie a été transportée dans une zone sécurisée et immergée dans un grand volume d'eau prévu à cet effet. Cette immersion a généré une détonation sourde et un violent départ de feu qui n'a fait aucun blessé. Les 40 employés évacuent les lieux.

L'analyse de l'accident montre que le circuit de refroidissement par eau de la batterie accidentée présentait un défaut d'étanchéité. À la mise en eau, un court-circuit interne a engendré un emballement thermique sur une ou plusieurs cellules. En parallèle, l'eau d'immersion était chargée en sel afin d'accroître la décharge de la batterie noyée. Il semblerait que l'eau salée ait amplifié le phénomène d'emballement thermique et généré un fort dégagement d'hydrogène à l'origine de la détonation et de l'inflammation de vapeurs à la surface de l'eau. Par ailleurs aucun dégagement de fluorure d'hydrogène n'a été constaté.

# LES CAUSES AVÉRÉES OU SUPPOSÉES

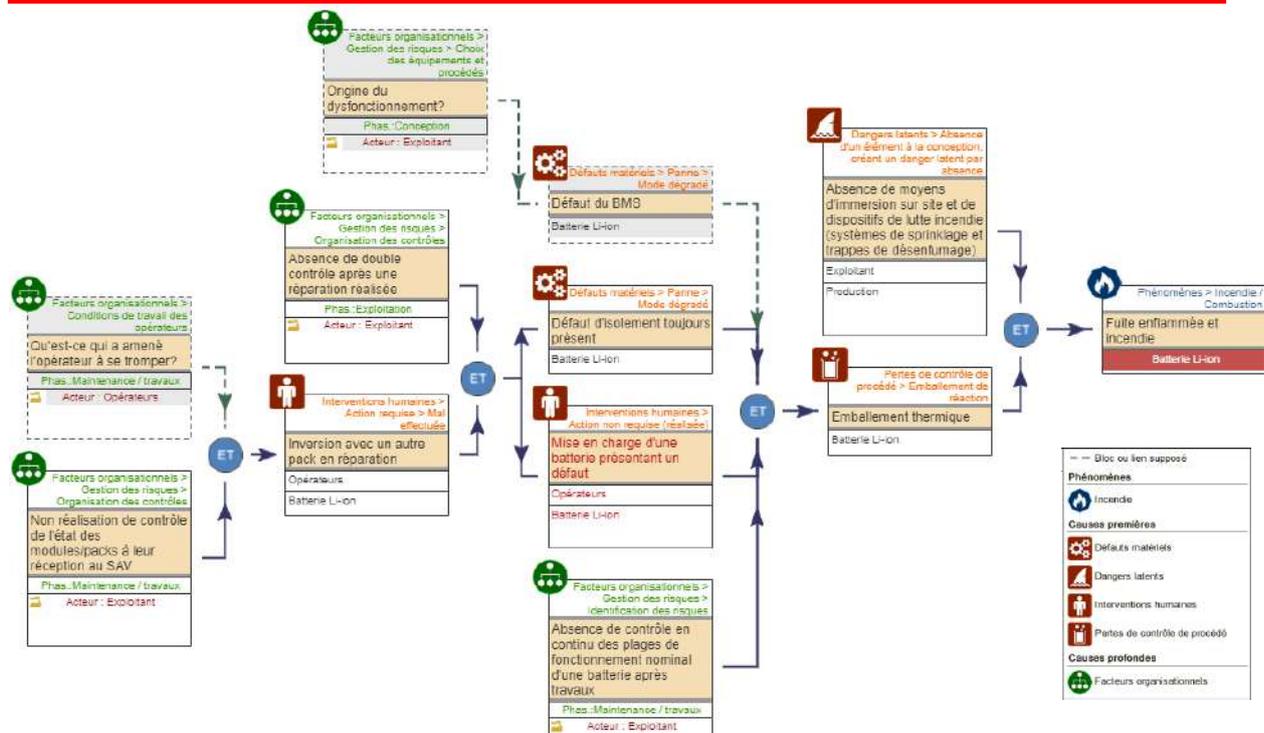
Si le taux de perturbations (défaillances directes) est d'environ 61%, celui des causes profondes n'est que de 25%. Le BARPI considère que l'accès aux causes profondes permet d'identifier les facteurs de fond de l'exploitation qui créent les conditions accidentogènes d'une situation de travail, tels : l'organisation collective, le management, la gestion des priorités, l'environnement social. Ainsi, les perturbations ne sont pas les causes d'un accident, elles n'en sont que les symptômes. La recherche des causes profondes doit permettre, outre de corriger des facteurs techniques, de mettre en place les mesures organisationnelles et humaines afin de réduire l'occurrence des phénomènes dangereux. La recherche des causes profondes appliquée à l'analyse de l'événement ci-dessous a permis de dégager les facteurs ayant conduit à l'emballement thermique.

## Fuite enflammée sur un pack de batteries Li-ion

ARIA 54261 – 26/08/2019 – Chasseneuil-du-Poitou (86)

Naf 27.20 : Fabrication de piles et d'accumulateurs électriques

Un pack de batteries lithium s'enflamme dans un bâtiment du service après-vente d'une usine de production de batteries. Une flamme de 3 à 4 m se crée pendant 10 s. Les 50 salariés présents sont évacués. Une équipe de 1<sup>ère</sup> intervention du site tente de circonscrire l'incendie avec des extincteurs et un RIA. Un important dégagement de fumée est visible. Les pompiers analysent la toxicité des fumées avant d'intervenir. Après résultats, le local, non pourvu de trappe de désenfumage, est ventilé. Le pack endommagé ainsi que 7 autres ayant pu être soumis au rayonnement thermique sont immergés dans une benne remplie d'eau. Un pompier et 9 salariés, incommodés par les fumées, sont transportés à l'hôpital. La production reprend au bout de 4 jours.



## LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS

Les 36 événements étudiés soulèvent des situations à risque sur l'ensemble du cycle de vie des batteries Li-ion. En prenant en compte les batteries usagées pouvant rester sur un site avant leur prise en charge par une entreprise spécialisée des déchets (NAF 38), le phénomène d'emballement thermique, risque le plus redouté avec les batteries Lithium, a ainsi été rencontré au cours :

- d'étapes de fabrication (ARIA [56182](#), [33658](#)) ou de raccordement (ARIA [56442](#));
- d'essais ou tests divers (charge/décharge, court-circuit) (ARIA [17385](#), [45807](#), [46083](#), [54531](#), [55142](#), [57677](#), [50033](#)), d'échantillons à analyser (ARIA [44998](#));
- d'opérations courantes, par exemple de mise en charge (ARIA [36215](#), [54261](#), [54538](#)), mesure de tension (ARIA [54703](#));
- en cours d'utilisation (ARIA [54822](#), [57740](#));
- de stockage de batteries rebutées (ARIA [32208](#), [50152](#)) ou d'opération de court-circuitage de batteries avant leur mise au rebut (ARIA [38031](#));
- de manutention (ARIA [49658](#));
- d'agressions externes (propagation d'incendie ARIA [54866](#)) ou climatiques du fait d'un stockage inapproprié (ARIA [54742](#)).

L'emballement thermique rappelle que l'électrolyte de ces batteries est composé de solvants aux pressions de vapeurs relativement importantes. Cependant, il ne faut pas en oublier leur caractère souvent toxique et corrosif (blessures lors de la fuite d'électrolyte liquide : ARIA [57677](#)).

Ainsi, toutes les mesures pour se prémunir doivent être prises sur l'ensemble du cycle de vie de la batterie :

- dès la conception : Protection contre les surintensités, contre les surcharges / surdécharges des éléments, contre les courts-circuits (externes, internes à la cellule ou entre éléments), contre les températures élevées...;
- lors de l'utilisation, manutention et/ou stockage de la batterie afin de veiller à toujours conserver les batteries dans leur plage d'utilisation et de fonctionnement sûre (électrique et thermique);
- enfin, lors de leur préparation au rebut : conditions de décharge, court-circuitage, stockage en lieu protégé des agressions externes (météorologique ou température).

Sans préjuger des conclusions des analyses de risques en fonction de la complexité des situations rencontrées ainsi que des plans d'urgence qui en découlent, plusieurs événements mettent en évidence que les dispositifs de prévention et de protection incendie des locaux où sont stockés les batteries ne paraissent pas adaptés :

- dispositifs de désenfumage inexistant (ARIA [54261](#)) ou inefficaces (ARIA [54538](#));
- moyens d'extinction inefficaces (ARIA [56442](#));
- dispositifs d'immersion des batteries Li-ion en cas d'emballement thermique non disponibles sur site (ARIA [54538](#));
- difficulté pour les pompiers de connaître la nature des batteries prises dans un incendie et donc les moyens à mettre en œuvre (eau proscrite sur un feu de batteries Lithium Métal Polymère (LMP) (ARIA [48170](#)).



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Direction générale de la prévention des risques  
Service des risques technologiques  
Bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles  
5, place Jules Ferry – 69006 Lyon  
Tél. +33 (04) 26 28 62 00  
Fax +33 (04) 26 28 61 96  
[barpi@developpement-durable.gouv.fr](mailto:barpi@developpement-durable.gouv.fr)

Site internet :

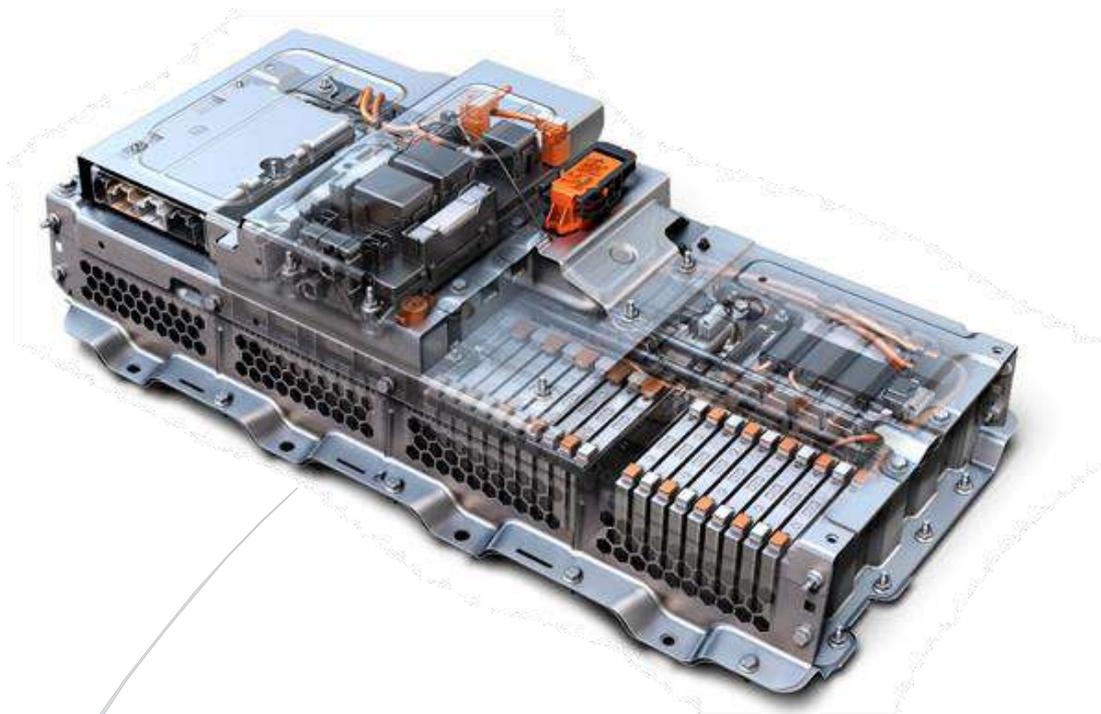
<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr>

---

17/01/2019

# Rapport final

Etude du risque incendie de stockage de batterie dans le cadre de la montée en puissance de la motorisation électrique.





# Sommaire

## Table des matières

Sommaire .....	3
Remerciement .....	5
Le groupe de travail.....	6
Préface .....	7
Introduction.....	8
1) Contexte.....	8
a) Une volonté politique.....	8
b) Des avancées technologiques.....	8
c) Un contexte concurrentiel .....	8
2) Problématiques .....	9
3) Les outils de la gestion de projet.....	10
a) L'organisation du groupe de projet .....	10
b) Les documents officiels .....	11
c) Le planning.....	12
I - Etat des lieux de l'existant :.....	13
1) Principe de fonctionnement des batteries :.....	13
2) Les différentes technologies existantes de stockage de l'électricité :.....	14
3) Le stockage des batteries :.....	14
II - Nos sources et leurs apports :.....	15
1) Les documents techniques : .....	15
a) Etude d'impact des feux de véhicules électriques (RENAULT) sur les intervenants des services de secours – LCPP – réalisé le 2 avril 2012. ....	15
b) Etudes de l'INERIS .....	15
c) Etude BARPI : Accidentologie liée à la fabrication, à l'utilisation au stockage et au recyclage de batteries et piles au Lithium. ....	18
d) Guide Opérationnel Départemental de Référence du SDIS 86 portant sur les interventions d'urgence sur les véhicules.....	19

e) Etude FM Global concernant les incendies de rack de stockage de batteries Lithium-ion .....	20
f) Vidéo d'un emballage de batterie dans un appartement .....	22
2) Les sources réglementaires : .....	22
3) Les retours d'expériences : .....	24
a) Feu d'un local de vente de vélos électriques à la Réunion .....	24
b) Feu d'un garage automobile dans une succursale de vente Renault dans les Yvelines .....	24
c) Incendie véhicule électrique Bluely à Lyon .....	25
d) Feu d'un local batterie au Kremlin Bicêtre le 22/06/2018.....	26
4) Rapports de visites, rapports de réunion .....	27
a) Compte rendu de l'entretien avec un prévisionniste du SDIS29.....	27
b) Visite du site « forsee power » dans la Vienne.....	28
III – Propositions .....	30
1) Les éléments de prévention et de prévision .....	30
2) L'approche opérationnelle .....	31
Conclusion .....	35
Annexes : .....	36
Annexe n°1 : Les batteries plomb-acide sulfurique .....	36
Annexe n°2 : Les batteries Nickel-Cadmium .....	37
Annexe n°3 : Les batteries Lithium-Ion .....	38
Annexe n°4 : Les batteries Lithium-Polymère .....	39
Annexe n°5 : Les batteries Lithium Métal-Polymère.....	40
Annexe n°6 : lettre de cadrage.....	41
Annexe n°7 : lettre de commande .....	42
Annexe n°8 : Références .....	43

## Remerciement

Colonel François Gros – DGSCGC – Chef du bureau de la doctrine, de la formation et des équipements

Colonel Pierre Schaller – ENSOSP – Directeur du département DEFI

Mme Muriel Abatini – ENSOSP – Coordinatrice des formations de gestion de projet

Mme Laurence Monet – ENSOSP – Intervenante en gestion de projet

Lieutenant-Colonel Benoit Delage – SDIS de l’Aisne – Chef de groupement territorial Nord

Lieutenant-Colonel Sylvain Rogissart – ENSOSP – Adjoint du directeur des études, référent pour l’action européenne et internationale de l’ENSOSP

Commandant Steve Oliny – ENSOSP – Responsable Pédagogique FORCAL

Capitaine Cyril Fournier – ENSOSP – Responsable Pédagogique Adjoint FORCAL

Mais aussi

Lieutenant Thomas Viaud – SDIS de la Réunion

Lieutenant-Colonel Michel Gentilleau – SDIS de la Vienne

Lieutenant Adrien Gransagne – SDIS de la Vienne

Capitaine Bruno Poutrain – BSPP

## Le groupe de travail

Le Capitaine Mohamed Mouzdahir – Protection Civile Marocaine

Le Capitaine Raymond Mathurin – SDIS de la Guyane

Le Capitaine Olivier Bricout – SDIS de la Vienne

Le Capitaine Christophe Petit – SDMIS

Le Capitaine Erik Royer – SDIS de l'Île et Vilaine

Chef de projet

Le Capitaine Martin Lambert – SDIS de la Seine-Maritime



## Préface

La thématique a été proposée par la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC) aux capitaines en formation. Ce document est le fruit d'un travail continu de 10 semaines à l'Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers (ENSOSP).

Notre groupe de projet, à la fois binational et tricontinental, s'est appuyé sur des exploitants de batteries au lithium (constructeurs, utilisateurs, recycleurs...) de divers horizons. Nous nous sommes également inspirés du droit Français, dont en particulier le droit de l'Environnement qui règlemente les activités industrielles. Enfin, nous avons consulté des experts et profité de plusieurs retours d'expériences, par des témoignages de sapeurs-pompiers, ou récupérés sur la base des accidents industriels du Bureau de l'Analyse des Risques et de Pollutions Industrielles (BARPI).

Enfin, nous vous souhaitons une bonne lecture de ce document en espérant qu'il répondra à vos éventuelles interrogations.

Les Capitaines Mouzdahir, Mathurin,  
Bricout, Petit, Royer et Lambert.

### تقديم:

نظرا لأهمية الموضوع قامت الإدارة العامة للأمن المدني وتدابير الأزمات باقتراح البحث في المخاطر المترتبة عن تخزين البطاريات المستعملة في مجال وسائل النقل الكهربائية على النقباء المتدربين، العمل الذي بين أيديكم هو ثمرة جهد متواصل لعشرة أسابيع في المدرسة الوطنية العليا لضباط رجال الإطفاء.

فريق عملنا المكون من عناصر من دولتين وثلاث قارات مختلفة في آن واحد، اعتمد خلال بحثه على مستغلي البطاريات بالليثيوم، مصنعين ومستعملين وأخصائيين في إعادة التدوير، من أفاق مختلفة.

بالإضافة إلى أننا بحثنا معمقا في القانون الفرنسي، وبالخصوص فيما يتعلق القوانين التي تقنن الأنشطة الصناعية في مجال البيئة. وقد استفدنا كثيرا من التجارب في هذا المجال عبر شهادات استقصيناها من رجال إطفاء تدخلوا على هذا النوع من المخاطر أو اللاتي وجدناها على مستوى قاعدة البيانات للحوادث الصناعية لمكتب تحليل المخاطر والتلوث الصناعيين.

وفي الأخير، لنا الشرف أن نتمنى لكم قراءة ممتعة لهذا العمل المتواضع، راجين أن يجيب على انتظاراتكم وتساؤلاتكم المحتملة.

## Introduction

### 1) Contexte

#### a) Une volonté politique

Les chocs pétroliers successifs du XX<sup>ème</sup> siècle et la prise de conscience environnementale du XXI<sup>ème</sup> siècle ont poussé nos sociétés occidentales à rechercher une alternative aux énergies fossiles. Aussi, à l'image d'autres pays qui ont déjà lancé leur transition vers la locomotion électrique, l'électrification du parc automobile français est aujourd'hui une réelle volonté gouvernementale, en témoigne les nombreuses prises de position récentes et le poids des primes à l'achat permettant la conversion d'un véhicule thermique vers un véhicule électrique.



#### b) Des avancées technologiques

La technologie est un facteur déterminant de cette révolution de nos modes de locomotion. L'évolution et la démocratisation des batteries lithium, élément clé des véhicules électriques, ont permis l'accroissement de l'autonomie du véhicule. Ce gain d'autonomie, couplé au développement de bornes de recharges rapides permet aux véhicules électriques de devenir une alternative crédible aux véhicules thermiques.

#### c) Un contexte concurrentiel

Le développement des énergies alternatives visant à supplanter les moteurs thermiques est un enjeu stratégique et commercial fort du XXI<sup>ème</sup> siècle.

Si la grande majorité des batteries est fabriquée en Chine, dans le secteur automobile, chaque constructeur essaie de développer et d'imposer sa technologie. Les constructeurs français cherchent à conserver leur avance dans le domaine de la motorisation thermique en

investissant massivement dans l'énergie électrique. Pour vendre plus, il faut proposer toujours mieux : plus d'autonomie et/ou plus de rapidité dans la recharge.

Pour toutes ces raisons, la progression des parts de marché de l'électrique dans la mobilité ne cessera de croître dans les années à venir.

## 2) Problématiques

Le développement industriel de la filière électrique sur le territoire français est générateur d'un risque nouveau : le feu de stockage de batteries. Ce risque est présent, sous différentes formes, dans les différentes étapes de la vie d'une batterie : de la production, au stockage jusqu'au recyclage. Les SDIS sont donc confrontés aux problématiques suivantes :

- En l'absence de réglementation existante, quelles mesures préventives le SDIS peut-il demander à un exploitant de la filière ? Quelles mesures préventives doivent être demandées au législateur ?
- En l'absence d'un grand nombre de RETEX sur le sujet, et au vu du peu de communication par les industriels, quels sont les risques pris par les sapeurs-pompiers intervenants sur ce type de sinistre ?
- Quelle doctrine opérationnelle appliquer pour intervenir efficacement et en sécurité ?
- Au vu du développement rapide des technologies sous le sceau du secret industriel et de la faible occurrence du risque, comment garantir l'évolution de la doctrine opérationnelle ?

Nous nous intéresserons ainsi dans ce document au stockage de masse de ces batteries de puissance utilisées dans la locomotion électrique, et ce, durant l'ensemble de leur phase de vie : assemblage, stockage, recyclage.

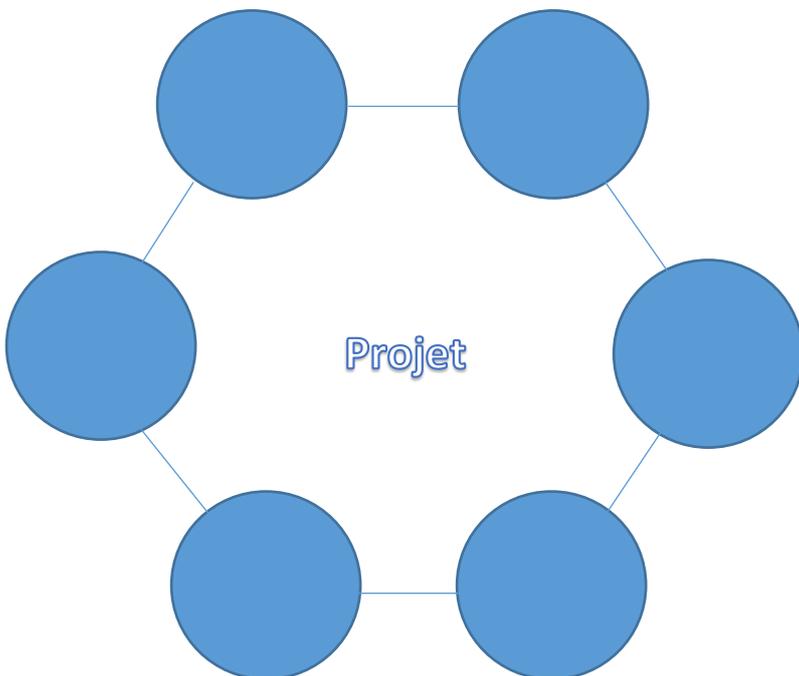
Dans un premier temps, nous ferons un état des lieux de l'existant : qu'est-ce qu'une batterie, quelles sont les technologies utilisées ? Comment sont-elles stockées ? Quels sont les risques associés à ces technologies ? Nous analyserons également toute la bibliographie à notre disposition : études, supports vidéo, réglementation, retours d'expériences.

Dans un second temps, nous étudierons les possibilités opérationnelles : ce qui existe chez les exploitants, la réglementation internationale, ce qui est possible. Enfin, nous vous remettrons une fiche opérationnelle facilitant l'intervention de nos agents face à ce type de risque.

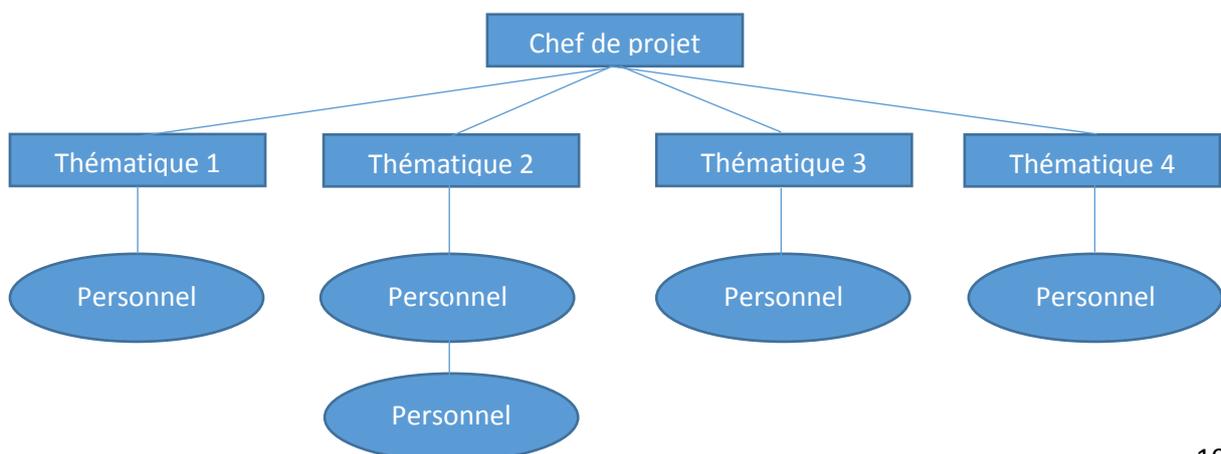
### 3) Les outils de la gestion de projet

#### a) L'organisation du groupe de projet

Dans un premier temps, nous avons souhaité profiter des idées de chacun afin de viser un spectre le plus large possible. Ainsi, le groupe de travail était en mode « brainstorming » afin que l'expression de chacun soit aussi libre que possible. Dans ce mode de travail, le chef de projet est plus en retrait de façon à ce que chacun ait le plus de liberté possible.



Dans un second temps, nous avons réparti le travail entre chaque membre. Ainsi, nous avons pu avancer sur différents axes de travail et approfondir les points clés du projet. Le rôle du chef de projet était plutôt un rôle d'organisateur et de superviseur (répartition des tâches, intégrations des rendus au livrable).



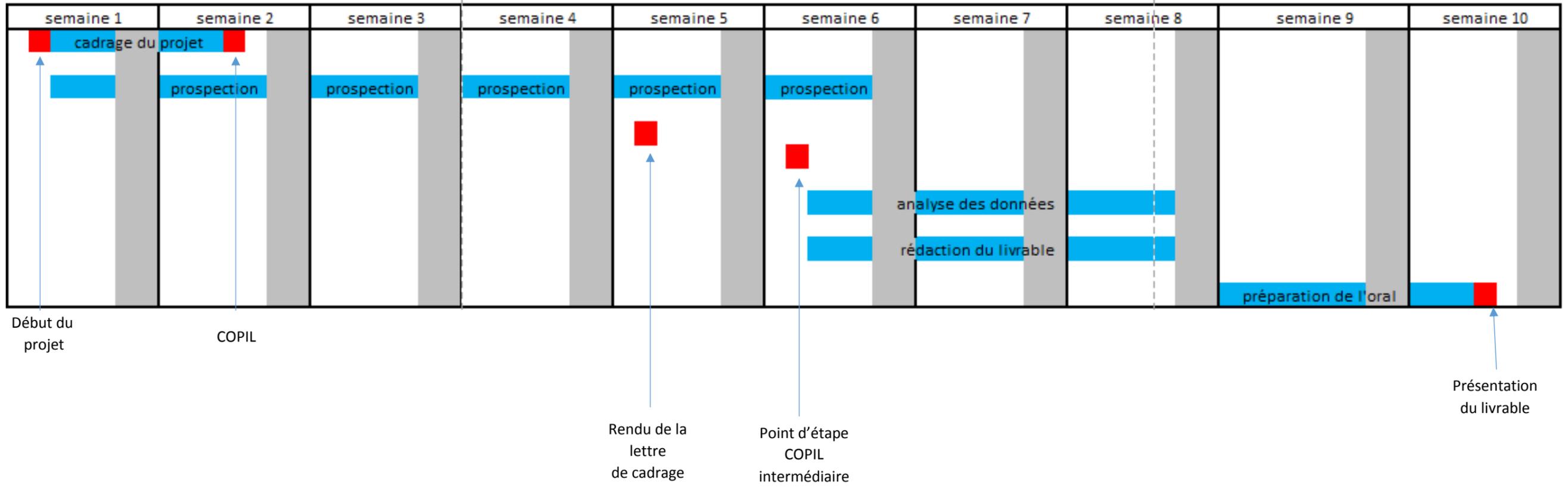
## b) Les documents officiels

Les documents cadres du projet sont les suivants :

- Lettre de commande.
- Réponse à la lettre de commande ;
- Lettre de cadrage.

Ils sont accessibles en annexe de ce document. Ces documents cadres nous ont permis de fixer le cadre du projet et les moyens à notre disposition pour sa réalisation.

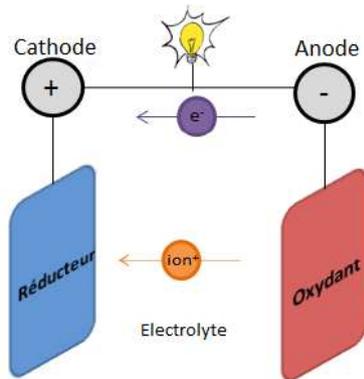
c) Le planning



# I - Etat des lieux de l'existant :

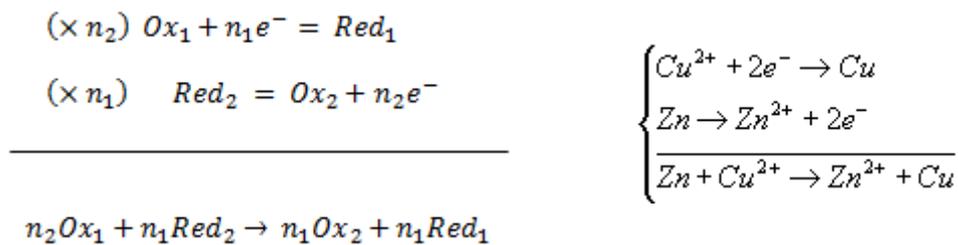
## 1) Principe de fonctionnement des batteries :

Une batterie d'accumulateurs (« battery pack » en Anglais), communément appelée « Batterie » est constituée d'un assemblage d'une multitude d'accumulateurs permettant de générer un courant et une tension électrique.



Les accumulateurs sont des éléments simples capables de stocker de l'énergie électrique sous une autre forme d'énergie. Dans notre cas, les accumulateurs utilisés sont de nature électrochimique : une réaction d'oxydo-réduction permet le passage de porteurs de charges entre deux électrodes entraînant la création d'un courant électrique. Cette réaction est réversible : la batterie est donc rechargeable.

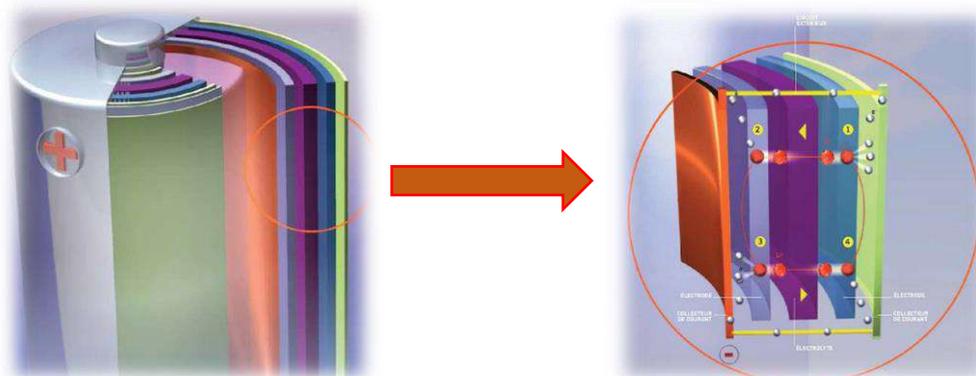
Un accumulateur est constitué systématiquement de trois éléments : l'Anode, qui fournit les électrons, la Cathode, qui capte les électrons, et un électrolyte qui permet le déplacement d'ions afin d'équilibrer la réaction électrochimique.



*Exemple d'une réaction d'oxydo-réduction*

Les caractéristiques d'un accumulateur dépendent de la nature des éléments chimiques utilisés dans sa composition, ainsi, on parle de batterie Li-Po (Lithium-Polymère), Ni-Cd (Nickel-Cadmium), LMP (Lithium Métal – Polymère) etc...

Les accumulateurs sont ensuite assemblés afin d'additionner leur puissance.



En raison d'un choc, d'une surcharge, ou d'un défaut de fabrication, les batteries peuvent présenter un risque d'emballement. L'emballement d'une batterie est l'autodécharge plus ou moins rapide de l'ensemble des accumulateurs. Cela entraîne la destruction de la batterie ainsi qu'une forte production de chaleur pouvant provoquer l'inflammation de la batterie et de fort dommage dans son voisinage.

Dans le cas du stockage de batterie, l'emballement d'une batterie peut provoquer une réaction en chaîne par effet domino.

## 2) Les différentes technologies existantes de stockage de l'électricité :

L'énergie électrique, par la nature de sa production (production et consommation en continu, ajustement de l'offre à la demande), est une énergie facile à produire mais difficile à stocker.

La recherche dans le domaine a abouti aujourd'hui à plusieurs solutions de stockage de l'électricité :

- Electrotechnique : c'est le cas par exemple des condensateurs électriques.
- Chimique : c'est le cas des piles à combustible, qui, en faisant réagir de l'hydrogène et de l'oxygène, produit de l'électricité et de la chaleur.
- Electrochimique : c'est le cas des batteries.

Cette étude ne s'intéressera qu'au stockage de l'électricité dans des batteries. Les différentes technologies de batterie les plus communes sont présentées en annexe (annexes 1 à 5).

Notre étude ne portera que sur les batteries liées à la locomotion électrique. Ainsi, les batteries concernées sont les suivantes :

- Lithium – Ion
- Lithium – Polymère
- Lithium Métal – Polymère

Ces 3 familles de batteries ont en commun l'utilisation du lithium, et offrent une grande densité énergétique. Ce sont les batteries utilisées dans les véhicules électriques en tout genre, et donc les plus susceptibles d'être stockées en masse.

## 3) Le stockage des batteries :

Durant toutes leurs phases de vie (assemblage, utilisation, recyclage) les batteries seront stockées dans diverses conditions.

Nous nous intéresserons spécifiquement à deux modes de stockage :

- Le stockage de grande dimension, apparenté à la réglementation de la nomenclature ICPE 1510 ;
- Le stockage de proximité (dans des magasins ou dans des usines par exemple) non réglementé.

## II - Nos sources et leurs apports :

### 1) Les documents techniques :

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à des études réalisées par des experts. Si le stockage de batterie est assez peu connu, des brûlages de véhicules et de batterie ont déjà eu lieu, permettant d'appréhender le risque d'une batterie isolée.

- a) Etude d'impact des feux de véhicules électriques (RENAULT) sur les intervenants des services de secours – LCPP – réalisé le 2 avril 2012.

Le Laboratoire Central de la Préfecture de Police a réalisé le 2 avril 2012 des essais de brûlage sur des véhicules électriques. Nous en retiendrons les points suivants :

- La température dans l'habitacle atteint des températures de plus de 1000°C ;
- Le risque électrique est très présent lors de l'extraction d'une victime mais minime lors d'un incendie ;
- L'analyse des eaux d'extinction met en évidence la présence de fluorure, chlorure, sulfate, thiosulfate, sodium, potassium, ammonium, calcium, aluminium, baryum, cobalt, cuivre, fer, lithium, manganèse, nickel, zinc, benzène, toluène, méthanol et éthanol. Ces polluants sont toutefois à relativiser car il s'agit d'un relevé sur la combustion d'un véhicule complet.
- L'analyse des fumées met en évidence la présence d'acide fluorhydrique et de benzène.

### b) Etudes de l'INERIS

L'INERIS a également produit des documents intéressants en particulier sur le risque lié à l'emballage thermique d'une batterie et aux pollutions engendrés par ces produits en mode dégradé. Ces études nous confortent dans la prise en compte de la pollution liée à la toxicité des fumées et des eaux d'extinction et des problématiques liées au lithium. La vidéo, accessible au lien suivant ou en flashant le QR code nous montre les difficultés d'extinctions d'une batterie Li-Ion avec les moyens d'extinctions classiques.

Le rapport d'étude INERIS référencé DRA-10-111085-10531B « Accidentologie relative aux systèmes de stockage d'énergie électrochimique : analyse du retour d'expérience. » est

un rapport de 34 pages datant du 30 septembre 2010. En préambule, comme pour tous les documents de l'INERIS, l'institut précise que son rapport est fondé sur les éléments qui lui ont été fournis et qu'il dégage sa responsabilité si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Dans sa première partie qui concerne l'introduction et la méthodologie de l'étude, l'INERIS avance les incidents et accidents qui sont intervenus notamment dans la filière de la téléphonie et l'informatique qui utilisent des batteries à bas de lithium depuis plusieurs années. Leur étude souhaitant porter sur la filière des véhicules électriques (VE), l'INERIS ne souhaite pas se priver de l'étude de l'accidentologie de la filière téléphonie et informatique puisque le danger intrinsèque des batteries au lithium reste le même quel que soit la capacité de la batterie.

Le point 1.3 présente les différentes sources d'informations exploitées. Notamment la base de données accidentologiques ARIA du BARPI, la base de données d'accidents aériens de la FAA (USA), des retours d'expériences d'industriels ainsi que des experts internationaux.

La seconde partie du document qui est le cœur de celui-ci, liste les principaux accidents recensés et leurs enseignements.

Tout d'abord l'accidentologie en avion : plusieurs départs de feux ou feux avérés ont pour origine probable des batteries au lithium transportées généralement en soute. Aucune des études n'a permis de garantir l'origine du départ de feu à 100%.

Ensuite les autres modes de transport : Que ce soit en transport routier, fluvial ou maritime, aucun incident ou accident majeur n'est à relever.

Enfin, les accidents survenus à la fabrication et/ou au stockage :

En France, les accidents présentés par cette étude montrent qu'il s'agit généralement de batteries au lithium et que les moyens d'extinction utilisés ont été de la poudre, de la mousse ou de l'eau. Les dégâts ont été parfois importants notamment que le sinistre initial se propage dans un bâtiment existant (garage automobile par exemple).

A l'étranger, le premier accident présenté est celui de la société DMZ situé à Karlstein am Main en Allemagne le 20 août 2008. En effet, cet accident de nuit a provoqué de nombreux dégâts et il est à noter que l'on parle d'effet missile jusqu'à 300 mètres. Certaines vidéos de cet accident sont disponibles sur internet. Le second accident présenté relate d'un incendie en 2008 dans la société Yardney Technical Products située à Stonington dans le Connecticut USA, spécialisée dans la fabrication de batteries à haute performance. Il est fait mention d'émission d'une fumée épaisse et de dégagement d'acide fluorhydrique accompagné d'une forte odeur d'acide. Les 3 autres accidents ou incidents ne présentent pas d'éléments pertinents pour notre travail.

Au point 2.3.1 est proposée une courte analyse de l'exploitation de la base de données RAPEX qui recense les produits de consommation qui, après mise sur le marché, se sont révélés présenter un défaut mettant en jeu la sécurité des consommateurs. Cette analyse ne montre rien de pertinent en rapport avec notre travail. Elle fait état de rappels de batteries

généralement de petits équipement et avec un pourcentage de rappel de 1 environ. Il est à noter que cette analyse est basée sur des données de 2004 à 2009 et que cette dernière année semble plus fournie. Pour être complet, il n'est mentionné, pour les batteries de locomotion qu'un rappel sur une batterie de vélo à assistance électrique. La base de données américaine CPSC présente globalement une situation identique.

Il est fait état ensuite au point 2.3.3 dans les incidents reliés directement à l'E-mobilité, de l'incendie d'une Toyota prius hybride modifiée en véhicule hybride rechargeable par le montage par une société spécialisée d'un pack comprenant un assemblage de 600 cellules lithium-ion. L'origine du feu est attribuée à un défaut de montage.

Le point 2.3.3.4 présente les éléments issus d'un entretien ayant été réalisé avec le service technique de gestion d'un gestionnaire de flotte national de véhicule électrique. Les incidents présentés sont liés à la charge des véhicules et ne présentent pas un intérêt significatif pour notre travail.

Le point 2.4, liste quelques incidents et notamment des incendies survenus lors du recyclage. Le premier présenté est un incendie de stockage de batterie en attente de recyclage dans la société TOXCO située à Trail au Canada. Une vidéo amateur circule sur le web. Elle montre, d'après le document de l'INERIS, des projections significatives et des effets thermiques importants. Il s'agirait d'un véritable feu d'artifices, du fait de multiples projections d'éléments de batteries en l'air pendant le déroulement de l'incendie. Une forte suspicion porte sur un emballement thermique d'une première et unique batterie. La stratégie d'intervention a été de laisser brûler par crainte de réaction de l'eau sur le lithium métal. Le second incident situé à Preston (UK) sur un site exploité par Véolia ES Cleanaway Ltd le 2 juillet 2007. L'origine de cet incendie de grande ampleur avec plus de 130 000 litres de produits chimiques inflammables est attribuée à des inflammations spontanées de batteries au lithium stockées dans des containers non étanches à l'eau et inappropriés au stockage de batteries lithium usagées. Le troisième incident fait également état d'un incendie chez le recycleur britannique G&P Battery Ltd le 25 mars 2008. Les premiers intervenants découvrent à leur arrivée une situation présentant des explosions avec effet missile (le document présente 2 photographies explicites). Les dégâts sont considérables. Il s'agissait d'un stockage de batteries au lithium-ion.

La conclusion de ce document repose sur plusieurs constats issus de l'accidentologie existante en rapport avec le déploiement de l'e-mobilité. Globalement, il est dit qu'il existe une accidentologie significative sur tout le cycle de vie des batteries et donc pour ce qui intéresse notre travail propre, également dans la phase de stockage. Que les dégâts matériels ont parfois été importants, sans faire de mort durant cette période de début de développement du marché. Que les accidents durant cette période ont majoritairement concerné des équipements relevant du marché des applications portables et ponctuellement des applications de puissance (marché en cours de développement). Il est précisé également que : « sauf intervention appropriée et immédiate, les accidents engendrent systématiquement des difficultés réelles à l'intervention ». Que : « l'intérêt d'avoir une détection et un système d'extinction automatique dans les ateliers de fabrication et salles d'activités à risque est également clairement démontré par l'accidentologie en France ». La

projection de matériaux incandescents, la toxicité des fumées sont à prendre en compte lors des interventions. Il est clairement indiqué que : « les problématiques d’extinction et d’intervention (stockage de masse) ... méritent un examen attentif », que les batteries de vélos à assistance électrique ne sont pas plus exemptes du risque d’emballement thermique que les batteries plus grosses et plus puissantes nécessaires aux véhicules électriques.

D’autres sinistres sont présentés dans ce document, il s’agit à chaque fois de site de recyclage. Les problématiques de fort dégagement de chaleur et de projection sont systématiquement mises en avant.



<http://www.youtube.com/watch?v=dfQwYKqmfk4>



<http://www.youtube.com/watch?v=RjkFFM1Aw6Y>



<http://youtu.be/SL5IYSgQrPs>

- c) Etude BARPI : Accidentologie liée à la fabrication, à l’utilisation au stockage et au recyclage de batteries et piles au Lithium.

L’accidentologie liée aux accumulateurs électriques est relativement fournie. Ainsi, le rapport du BARPI en date du 18/05/2011 relève 18 accidents depuis 1996. Ces accidents nous permettent d’identifier et de cerner les causes principales de sinistres liées aux batteries (échauffement, percement, court-circuit), mais aussi les effets produits (fort pouvoir calorifique et fumigène, fumées très toxiques, pollution des eaux d’extinction, projection sur de longues distances).



Un feu se déclare vers 1 h dans une alvéole du bâtiment de stockage et de tri d'un centre de recyclage de piles et d'accumulateurs alcalins et salins, l'alvéole où démarre l'incendie contient 20 t de piles au lithium usagés. Le dispositif d'extinction automatique par poudre du bâtiment se déclenche, mais ne peut contenir l'incendie qui se propage, en moins de 30 s selon un opérateur, aux autres cellules stockant d'autres types de piles (plomb, mercure, nickel-cadmium) et divers sous produit (ferrailles, hydroxyde de nickel). Deux employés sur place alertés par les flammes et des crépitements donnent l'alerte. A 2h45, les pompiers sont en action avec de gros moyens : 6 lances à eaux, 3 lances canons, 60 sapeurs issus de 9 centres de secours. Équipés d'appareils respiratoires isolants (ARI), ils protègent en priorité les stockages de gaz et le bâtiment principal avec des rideaux d'eau. Des contrôles de toxicité des fumées sont mis en place dans le village voisin sous le vent (SOx, HCl et H2SO4) et 14 employés de 2 entreprises proches sont évacués puis examinés en raison des fumées toxiques émises (nuage d'acide sulfurique et hydroxyde de lithium). Le bâtiment de 1 000 m<sup>2</sup> est détruit et des projections de piles sont observées dans le bâtiment en feu et jusqu'à 200 m du lieu du sinistre. L'incendie est maîtrisé après 4 h d'intervention. Il n'y a pas de victime mais les dommages matériels sont importants. Le bassin de confinement du site recueille 2 000 m<sup>3</sup> d'eaux d'extinction, mais en cours d'intervention, les pompiers ferment les vannes d'isolement de ce dernier restées ouvertes en raison de travaux programmés. Une pollution potentielle du cours d'eau voisin (le SPIN) et de la station d'épuration urbaine de DIEUZE est suspectée, bien que les premières analyses faites lors du sinistre ne montrent pas d'impact significatif. L'inspection demande à l'exploitant de mettre en place une surveillance du milieu (air, eaux de surface, sol) et constate que les dispositions relatives au confinement des eaux d'extinction et à la disposition des stockages n'ont pas été respectées. L'impact de l'incendie ne se révélera pas significatif au regard du passé industriel du site. Le scénario d'effets missiles due à l'incendie du stockage de pile au lithium n'est pas envisagé dans l'étude de dangers remise par l'exploitant en 2006. Les eaux d'extinction sont pompées et éliminées comme déchets dangereux (présence de métaux lourds, phénols et PCB) 4 jours après l'accident, les produits solides calcinés valorisables (piles) sont traités sur site par hydrométallurgie et les débris non valorisables sont éliminés dans un centre agréé.

Nous retiendrons un sinistre particulièrement marquant pour notre étude :

Ce sinistre nous enseigne les points suivants :

- Forte pollution engendrée par le sinistre (acide sulfurique et hydroxyde de lithium dans les fumées) autant aérienne qu'aqueuse ;
- Dommage matériel important et propagation aux installations annexes ;
- Projection jusqu'à 200m du sinistre ;
- Intervention lourde (60 sapeurs-pompiers, 6 lances à eau, 3 lances canon), personnel sous appareil respiratoire isolant et de longue durée.

d) Guide Opérationnel Départemental de Référence du SDIS 86 portant sur les interventions d'urgence sur les véhicules.

Ce document de périmètre départemental, accessible depuis le site internet du SDIS86 s'articule autour de 7 parties totalisant 80 pages et 105 pages d'annexes qui présentent les fiches techniques SR, SAP, les fiches matériels ainsi que des fiches sécurité.

Il est intéressant pour nous car il traite d'intervention sur des véhicules électriques équipés de batteries. Notamment :

En page 51, l'identification de la problématique d'extinction des batteries de type Lithium Métal Polymère (LMP) qui proscrit l'utilisation d'eau en moyen d'extinction et qui préconise de laisser brûler tout en protégeant l'environnement immédiat des effets du feu.

En page 52, sur l'emploi d'eau pour les feux de batteries haute-tension et sur la présence possible de crépitements et micro-arc électriques sans danger pour le porte-lance.

En page 53, l'interprétation d'une réaction violente liée à l'utilisation de l'eau par la présence de Lithium métal (batterie LMP) ou d'aluminium ou magnésium dans la structure du véhicule.

En page 55, une lecture du feu sur les batteries Lithium-ion faisant état d'une comparaison à une fuite de gaz enflammée du fait de la production de gaz de combustion. Egalement une lecture du feu sur les batteries LMP faisant état de projections de métal en fusion, de flammes très denses et de fumées conséquentes.

e) [Etude FM Global concernant les incendies de rack de stockage de batteries Lithium-ion](#)

L'étude d'inflammabilité de stockage de batteries lithium-ion a été réalisée en mars 2013 par FM Global, l'un des leaders mondiaux de l'assurance dommages. Dans ce cadre, des tests incendie grandeur nature ont été réalisés dans le pôle de recherche de FM Global, situé à West Glocester, dans l'Etat du Rhode Island.

Associées à cette étude, trois vidéos (Fire Hazard of Lithium-ion Batteries in Warehouse Storage) ont été réalisées afin de comparer les réactions au feu du stockage des batteries cylindriques lithium-ion (vidéo 1/3), des batteries lithium-ion d'outils portatifs 18volts (vidéo 2/3) et des batteries cellules lithium-ion polymère (vidéo 3/3).

- La première vidéo concerne un stockage de 19200 cellules cylindrique Lithium-ion sur une hauteur de 4.6 mètres.



[https://www.youtube.com/watch?v=MitnyQ4d\\_4g](https://www.youtube.com/watch?v=MitnyQ4d_4g)

- La seconde vidéo concerne un stockage de 200 packs de batteries Lithium-ion sur une hauteur de 4.6 mètres.



<https://www.youtube.com/watch?v=6OMv7St8EoU>

- La troisième vidéo concerne un stockage de 15552 cellules polymères Lithium-ion sur une hauteur de 4.6 mètres.



<https://www.youtube.com/watch?v=b3bVjcxnl8c>

Ces études de brulages réels nous montrent qu'en condition normal, les batteries stockées en rack se comportent comme des colis classiques : l'emballage combustible se consume normalement, nous avons affaire à un feu de carton et non à un feu de batterie.

Les recommandations en fin de document font état de 2 éléments. La mise en place d'un moyen rapide d'extinction automatique de type sprinkler ainsi qu'une distance de sécurité à minima de 3 mètres entre les racks de stockage afin de limiter le développement du feu. La combinaison de ces deux éléments semble être suffisante pour couvrir la grande majorité des départs de feu, qu'ils soient d'origine extérieure ou interne à la batterie.

## f) Vidéo d'un emballement de batterie dans un appartement



Cette vidéo nous enseigne qu'une batterie de trottinette électrique (quelques kilogrammes), lorsqu'elle s'emballe, produit très rapidement une quantité de fumée suffisante pour remplir un appartement, et assez de chaleur pour l'incendier.

<https://www.youtube.com/watch?v=h3FVm1JIXNk>

## 2) Les sources règlementaires :

Aujourd'hui, il n'existe pas de réglementation particulière pour le stockage des batteries. Les réglementations qui s'en rapprochent le plus sont les rubriques n°2925 (ateliers de charges de véhicule électrique) et n°1510 (stockage de matières et produits inflammables). Les stockages de batterie sont aujourd'hui classés dans la rubrique ICPE 1510, à cause de leur conditionnement (emballage carton, plastique, en palette), et non à cause de leur potentiel calorifique élevé.

L' « Arrêté du 3 août 2018 relatif aux prescriptions générales applicables aux ateliers de charge contenant au moins 10 véhicules de transport en commun de catégorie M2 ou M3 fonctionnant grâce à l'énergie électrique et soumis à déclaration sous la rubrique n° 2925 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement » nous apporte quelques éléments intéressants, en particulier :

**Article 2.2** : « L'installation dispose en permanence de deux accès au moins pour permettre à tout moment l'intervention du personnel des services d'incendie et de secours. Les véhicules stationnent sans occasionner de gêne pour l'accessibilité des engins des services d'incendie et de secours depuis les voies de circulation externes à l'installation, même en dehors des heures d'exploitation et d'ouverture de l'installation. L'accès au site est conçu pour pouvoir être ouvert immédiatement sur demande des services d'incendie et de secours. »

**Article 2.3.1** : « L'installation comporte également un système au sol ou à bord de véhicules qui permet d'empêcher la charge dès que le système de pilotage et de surveillance de la batterie détecte une anomalie telle qu'une surtension ou un échauffement. »

**Article 2.3.2** : « L'installation comporte un poste de surveillance situé à proximité du point d'accès des secours. [...] Il dispose de :

- un dispositif de coupure générale de type « arrêt d'urgence » de l'ensemble des alimentations électriques de l'installation ;
- un moyen permettant d'alerter les services d'incendie et de secours. »

**Article 2.3.3** : « En cas de détection d'un endommagement ou d'un défaut d'au moins une batterie sur un véhicule, dans l'attente de son enlèvement, celui-ci doit être isolé des autres véhicules dans un local de remisage. Le local de remisage est séparé de l'atelier de charge par

une paroi de 4,5 m de hauteur minimale, présentant une tenue au feu EI 60, ou REI 60 si la paroi constitue un mur porteur. Une protection doit permettre d'éviter l'introduction d'eau au sein des batteries endommagées. [...]

Lorsqu'un local de remisage est disponible dans l'installation, son emplacement est matérialisé, par exemple par à travers un panneau « batterie accidentée ou défaillante ». L'aire est organisée de façon à permettre l'accès au personnel des services de secours. »

**Article 4.1 :** « L'installation est équipée d'un système de détection automatique incendie adapté. Cette détection peut être assurée par le système d'extinction automatique s'il est conçu à cet effet. Cette détection actionne une alarme perceptible en tout point du dépôt permettant d'assurer l'alerte précoce des personnes présentes sur le site. [...] La remise en service de l'installation ne peut se faire qu'après constat de l'absence de risque par l'exploitant. »

**Article 4.2 :** « L'installation est équipée de moyens de lutte contre l'incendie suivants :

- l'installation est desservie par un appareil d'incendie (bouche, poteaux, etc.) d'un réseau public ou privé pour 1 000 m<sup>2</sup> de surface, situé à moins de 100 mètres de celle-ci et garantissant, a minima, un débit minimum de 60 m<sup>3</sup>/h sous une pression minimum de 1 bar durant deux heures ou un débit assurant une efficacité équivalente. A défaut, une réserve d'eau d'au moins 120 m<sup>3</sup> destinée à l'extinction est accessible en toute circonstance ;

- des extincteurs sont répartis à l'intérieur des locaux, sur les aires extérieures et les lieux présentant des risques spécifiques, à proximité des dégagements, bien visibles et facilement accessibles. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre, notamment le risque de feu électrique, et compatibles avec les produits stockés ;

- des plans des locaux facilitant l'intervention des services d'incendie et de secours avec une description des dangers pour chaque local. »

**Article 4.3 :** « Le site dispose d'une capacité suffisante de rétention des eaux d'extinction d'un sinistre. »

**Article 4.4 :** « Les bâtiments abritant les ateliers de charge sont équipés en partie haute d'un système de ventilation mécanique ou de dispositifs d'évacuation naturelle de fumées et de chaleur permettant l'évacuation à l'air libre des fumées, gaz de combustion, chaleur et produits imbrûlés dégagés en cas d'incendie.

Ces dispositifs sont à commande automatique et manuelle. Les commandes de désenfumage sont facilement accessibles par les services de secours. Leur surface utile d'évacuation n'est pas inférieure à 2 % de la surface au sol des locaux. »

Ces éléments réglementaires, même s'ils concernent les locaux de stockage de véhicules électriques, nous apportent des idées concernant les mesures de prévention pouvant être mises en place pour protéger les stockages de batterie.

On retrouve de nombreux éléments similaires dans les arrêtés types de la rubrique ICPE 1510, relative au stockage de matières, produits ou substances combustibles dans des entrepôts couverts.

### 3) Les retours d'expériences :

#### a) Feu d'un local de vente de vélos électriques à la Réunion

Nous avons pris contact avec le Lieutenant Viaud, de la Réunion. Celui-ci a été COS sur un incendie impliquant un local de vente de vélos électriques. Le feu est partie d'un compteur électrique et n'a pas endommagé les batteries, nous en retiendrons les éléments suivants :

- Information du danger lié aux batteries dès l'arrivée du COS par l'exploitant.
- Pas de connaissance approfondie des risques liés au lithium par le COS.
- Décision prise de sortir les batteries du local de vente pour éviter une aggravation de la situation, puis surveillance des batteries visuelle (contrôle de l'enveloppe), puis à la caméra thermique pour anticiper sur un éventuel emballement thermique.

#### b) Feu d'un garage automobile dans une succursale de vente Renault dans les Yvelines

Cette Intervention s'est déroulée sur 4 jours et 5 heures.

#### **Analyse de la ZI**

Structure en construction traditionnelle avec garage d'un côté et partie administrative de l'autre.

ZAC située en bordure de route départementale et proche d'un aérodrome. DECI convenable. Mois de juin, temps pluvieux et vent quasiment nul.

#### **Situation :**

Important panache de fumée.

Contact avec 1<sup>er</sup> COS = feu de garage et feu du stockage de 12 batteries Lithium-ion (qui s'avèreront être des batteries Lithium Métal Polymère LMP après prise de renseignement du CDC).

1<sup>ère</sup> action : 1 LDV 1000 pour une attaque directe, fourgon alimenté.

#### **Problématiques :**

Difficultés d'obtention de renseignements sur le type de batterie.

Présence d'emballement des batteries (notion de fusion et de projection de matière incandescente, forte chaleur générée entre 1500 et 2000°C).

#### **Objectifs :**

Eteindre le feu du garage et limiter la propagation aux parties administratives.

Evacuation des batteries stockées sur palettes pour finaliser l'extinction à l'extérieur.

**Idées de manœuvre :**

Utiliser différents agents extincteurs pour déterminer l'extinction en raison de l'absence d'informations concrètes sur le type de batterie : eau, mousse, poudre, ciment.

Mettre en place des prélèvements par le groupe Risques chimiques pour l'analyse des fumées.

Résultat : L'utilisation des différents agents extincteurs ne permet pas d'obtenir l'extinction définitive.

Contact avec l'expert constructeur qui préconise de laisser faire la combustion lente sans aspersion d'agent extincteur liquide ou solide.

Mise en place de deux lances queue de paon pour diluer les fumées.

Contrôle fréquent de la température par caméra thermique et des eaux d'extinction.

**Éléments favorables :**

Zone extérieure aux habitations.

Météo convenable à la situation.

Un SP titulaire du CACES pour extraire les palettes avec un chariot-élévateur.

Travail interservices avec exploitant, constructeur, services techniques de la ville et syndicat des eaux.

Présence d'un conseiller technique Risques chimiques et d'un officier RCCI.

**Axe d'amélioration**

Manque de connaissances techniques et opérationnelles.

Disposer de données sur le parc actuel de ce type de batteries.

Élaborer une fiche réflexe et un mode opératoire d'extinction.

Ce que nous retiendrons de ce retour d'expérience :

- Difficulté d'identifier le type de batteries soumises au sinistre ;
- Difficulté de trouver un agent d'extinction efficace ;
- Forte chaleur générée ;
- Production d'une très grande quantité de fumée (surpression dans le local).

c) Incendie véhicule électrique Bluely à Lyon

Bluely est un service de location de voitures électriques en autopartage lancé à Lyon en octobre 2013. Il se développe désormais dans l'agglomération, avec une flotte de plus de 250 véhicules et une centaine de stations. Ces véhicules fonctionnent à l'aide d'une batterie au lithium-ion.

Intervention du 6 juin 2016 à Lyon pour feu de véhicules électriques.

En l'absence de Retex une chronologie a été faite à l'aide du CRSV

**5h22** : engagement des moyens sur un feu de deux véhicules légers électriques (véhicules branchés sur bornes) et appel du CODIS au responsable Bluely.

**5h37** : le véhicule est totalement embrasé.

Début de l'extinction du véhicule.

Projection de métaux en fusion et embrasement du véhicule. Présence d'une lumière blanche très vive. Tous ces faits correspondent à l'emballement de la batterie. Mise en place d'une protection incendie des tiers.



**6h27** : le feu est maîtrisé mais le véhicule se consume toujours au niveau du bloc batterie.

**7h30** : Un responsable Bluely indique de terminer l'extinction en eau pour gagner du temps, ce qui provoque un dégagement important de fumée et odeur particulière et gênante. Difficultés à atteindre l'extinction définitive de la batterie.



200 personnes sont évacuées dont une école maternelle de 80 enfants.

Des relevés de la CMIC montrent la présence des produits suivants : Acide cyanhydrique, H<sub>2</sub>S et CO.

**11h13** : Fin de l'opération de secours.

Ce retour d'expérience nous montre ici encore les problématiques d'extinctions du bloc batterie et de projection de métal incandescent.

d) Feu d'un local batterie au Kremlin Bicêtre le 22/06/2018

Situation :

Vers 0h40, un feu se déclare sur plusieurs scooters électriques dans le local batterie de 100 m<sup>2</sup> au 1er sous-sol d'un bâtiment à usage de bureaux. Le local abrite 400 batteries de 2Kw chacune en métal polymère, un véhicule utilitaire électrique, 3 scooters électriques. Les secours mettent en place 3 lances et ventilent le local. L'incendie est éteint vers 4h15. Une lance est établie pour refroidir les batteries.

#### Problématique :

L'ensemble des préconisations émises par la BSPP sur ce local n'ont pas toutes été suivies par l'exploitant. Et notamment :

- Le risque n'a pas été suffisamment fragmenté (ne pas stocker de grandes quantités de batteries sans recoupement) ;
- Le sprinklage n'est pas opérationnel ;
- Porte coupe-feu avec ferme porte magnétique non secouru.

Lors du début de l'incendie, l'emballement des batteries a été suivi d'un fort dégagement de fumées sous pression ayant pour effet l'ouverture de la porte coupe-feu et la propagation des fumées au reste des locaux.

#### Enseignements :

- Le sprinklage est indispensable pour éviter les effets domino et l'emballement des batteries avoisinantes.
- La surpression de gaz générée par la combustion des batteries doit être canalisée pour éviter de propager l'incendie.

#### 4) Rapports de visites, rapports de réunion

##### a) Compte rendu de l'entretien avec un prévisionniste du SDIS29

Nous avons pu contacter le Capitaine Col, prévisionniste au SDIS du Finistère. Celui-ci a participé à la rédaction du plan d'établissement répertorié d'une industrie fabriquant et installant des batteries dans les véhicules.

Il est important de préciser que le type de batteries fabriqué dans cette société est LMP (Lithium Métal Polymère) et qu'il s'agit de la technologie aujourd'hui qui semble présenter un fort risque notamment de projection et de réaction avec l'eau d'extinction.

Cette société réalise son stockage ainsi : Les batteries sont conditionnées en pack par palettes de modules. Ces palettes sont stockées dans 24 cellules de 25 tonnes chacune entièrement sprinklées et isolées entre-elles par des murs en béton coupe-feu 2h. L'ensemble des stockages est sur rétention.

En effet, les études rédigées par l'INERIS ainsi que les essais effectués par le LCPP montrent que le feu de stockage ayant une origine externe à la batterie en elle-même reste pendant une certaine durée un feu de matériaux d'emballage. Le mode d'extinction le plus

efficace réside donc en la présence d'un sprinklage qui s'active dès la montée en température du sinistre.

Avec ces conditions de stockage l'attaque doit être réalisée au plus tôt pour ne pas laisser le temps aux batteries de monter en température et d'entrer dans une phase d'emballement. Lorsque cette phase est atteinte ou lorsque l'origine du feu est l'emballement d'une ou plusieurs batteries, la stratégie serait de procéder à une extinction à l'eau afin de refroidir les batteries avoisinantes pour empêcher leur montée en température.

#### b) Visite du site « forsee power » dans la Vienne

Cette entreprise, très récemment implantée sur un site existant est en cours de montée en puissance. L'activité de l'entreprise a pour objet de constituer des assemblages de packs batteries de forte puissance afin d'équiper des véhicules de transport en commun. Actuellement le site emploie 80 employés.

Lors du processus de fabrication, trois zones méritent d'être distinctes les unes des autres du fait des risques différents qu'elles concentrent :



Une zone stockage de matières premières, contenant notamment des cellules (souples dans le cas de l'activité actuelle) ;



Une zone assemblage de modules et de châssis ;



Une zone de stockage de produits finis (les packs batteries).

Chaque pack de batteries fini pèse environ 300 kg. A titre de comparaison, un autobus électrique comporte sept packs de ce type.

Ce site est encore en cours de construction, le SDIS a préconisé les mesures suivantes :

- Bâtiments distincts pour les activités de stockage matières premières, assemblage, stockage produits finis, stockage batteries défectueuses ;
- Stockage à plat sur un ou deux niveaux maximum de tout composant contenant du lithium, hauteur maximale 1,80 mètres ;
- Sprinklage à détection optique ou élévation de température (sprinklage à déclenchement thermique insuffisant) ;
- Désenfumage dimensionnant ;
- Rétention des eaux d'extinction.

Dans le cas d'un bâtiment neuf, le SDIS86 demanderait également la création d'une voie engin faisant le tour du bâtiment.

## III – Propositions

### 1) Les éléments de prévention et de prévision

En l'absence de réglementation existante, les mesures suivantes pourront être préconisées aux industriels souhaitant implanter une activité liée à la production, au stockage ou au recyclage de batteries.

MESURES CONSTRUCTIVES	JUSTIFICATION
Disposer d'une voie engin sur tout le tour du bâtiment	Prévue par la rubrique ICPE 1510, la voie engin faisant le tour du bâtiment permet d'attaquer une cellule par différents angles. Elle peut être complétée par des aires de mises en station des échelles aériennes permettant le stationnement de moyens aériens.
Recouper le bâtiment par activités et/ou par volumes. Le recoupement se fera au moyen de mur REI 120. L'accès se fera au moyen de portes REI 120 munies de ferme-porte ou d'un sas composé de deux portes REI 60 munies de ferme-porte.	Les risques sont différents selon les activités exercées. Diviser les volumes permet de réduire l'ampleur du sinistre. Cette séparation permet de limiter tant les quantités que les effets dominos.
Disposer d'une zone de stockage des batteries défectueuses, indépendante des autres bâtiments.	Réduction du risque à la source.
Equiper le site d'une rétention des eaux d'extinction dimensionnée au moyen du document technique D9A.	Limiter le risque de pollution de l'environnement. Les eaux d'extinction pourront être réutilisées pour traiter le sinistre.

EQUIPEMENTS DE SECURITE	JUSTIFICATION
Défendre les zones de stockage par un équipement d'extinction automatique de type « sprinklage » asservi à une détection optique.	Refroidissement précoce des batteries environnantes pour limiter les effets domino. Un système d'extinction automatique à déclenchement thermique interviendrait trop tardivement.
Disposer d'un organe de coupure électrique situé à l'extérieur des locaux à risque.	Assurer la sécurité des intervenants.
Dimensionner le désenfumage part une étude d'ingénierie de désenfumage.	Désenfumer les volumes sinistrés permet de faciliter l'intervention des secours et de limiter la propagation de l'incendie.
Disposer d'un système de canalisation de la surpression des gaz.	Les volumes importants de gaz et de fumée générés par un emballement de batterie peuvent provoquer une surpression. Celle-ci doit être prise en compte dans l'étude de désenfumage.

MESURES ORGANISATIONNELLES	JUSTIFICATION
Stocker tout élément lithium (cellules, batteries) à plat ou sur deux niveaux	Limiter les effets domino, conserver une accessibilité optimale pour permettre une attaque offensive et le noyage des packs batteries.

maximum, en dessous de 1,80 mètres de haut.	
disposer de bacs d'eau permettant l'immersion d'un module ou d'une batterie en défaut.	Ce dispositif permet le refroidissement, l'isolement, et le noyage d'une batterie endommagée.

## 2) L'approche opérationnelle

L'aspect opérationnel est traité dans ce document sous la forme de deux fiches. La première est une fiche de doctrine reprenant les actions issues des retours d'expériences et des témoignages des sapeurs-pompiers ayant été confrontés à ce type de situation. La seconde est un logigramme permettant au COS de prendre des décisions.

### GENERALITES

L'amélioration rapide de l'autonomie des batteries de traction, couplée à une volonté politique et écologique de développer les énergies « propres » va entrainer une explosion du nombre de batteries électriques de puissance en circulation sur le territoire.

En conséquence, le stockage de ces batteries à toutes les étapes de leur vie (stockage de matières premières, assemblage, stockage de produits finis, recyclage) entraine l'émergence de risques particuliers et nécessite des consignes adaptées lors de l'intervention des sapeurs-pompiers.

#### Constitution d'une batterie :



#### Motif d'emballage d'une batterie :

- Déformation suite à choc
- Défaut interne conduisant à un court-circuit
- Exposition à une source de chaleur externe

L'eau est le meilleur agent extincteur face aux feux de batteries. L'utilisation de poudre extinctrice ne permet pas de finaliser l'extinction de façon satisfaisante.

### RISQUES

#### Risques communs :

- Dégagement de fluorure d'hydrogène (HF)
  - > risque toxique aigu pour les intervenants
  - > risque toxique pour les populations
  - > absorption / désorption de l'HF par la tenue de feu
- Fort pouvoir fumigène
- Pollution des eaux d'extinction

#### Risques spécifiques à la technologie employée :

Lithium Métal Polymère (LMP)	Utilisation de l'eau proscrite (réaction violente) <b>Projections de métal en fusion</b>
Autres batteries lithium	Absence de risque spécifique

#### Risques liés au format des cellules :

Souple	Néant
Prismatique	Pas de risque de projection à priori
Cylindrique	<b>Effets missiles à plusieurs dizaines de mètres.</b>



Absence de risque électrique pour le porte-lance.

### OBJECTIFS GENERAUX

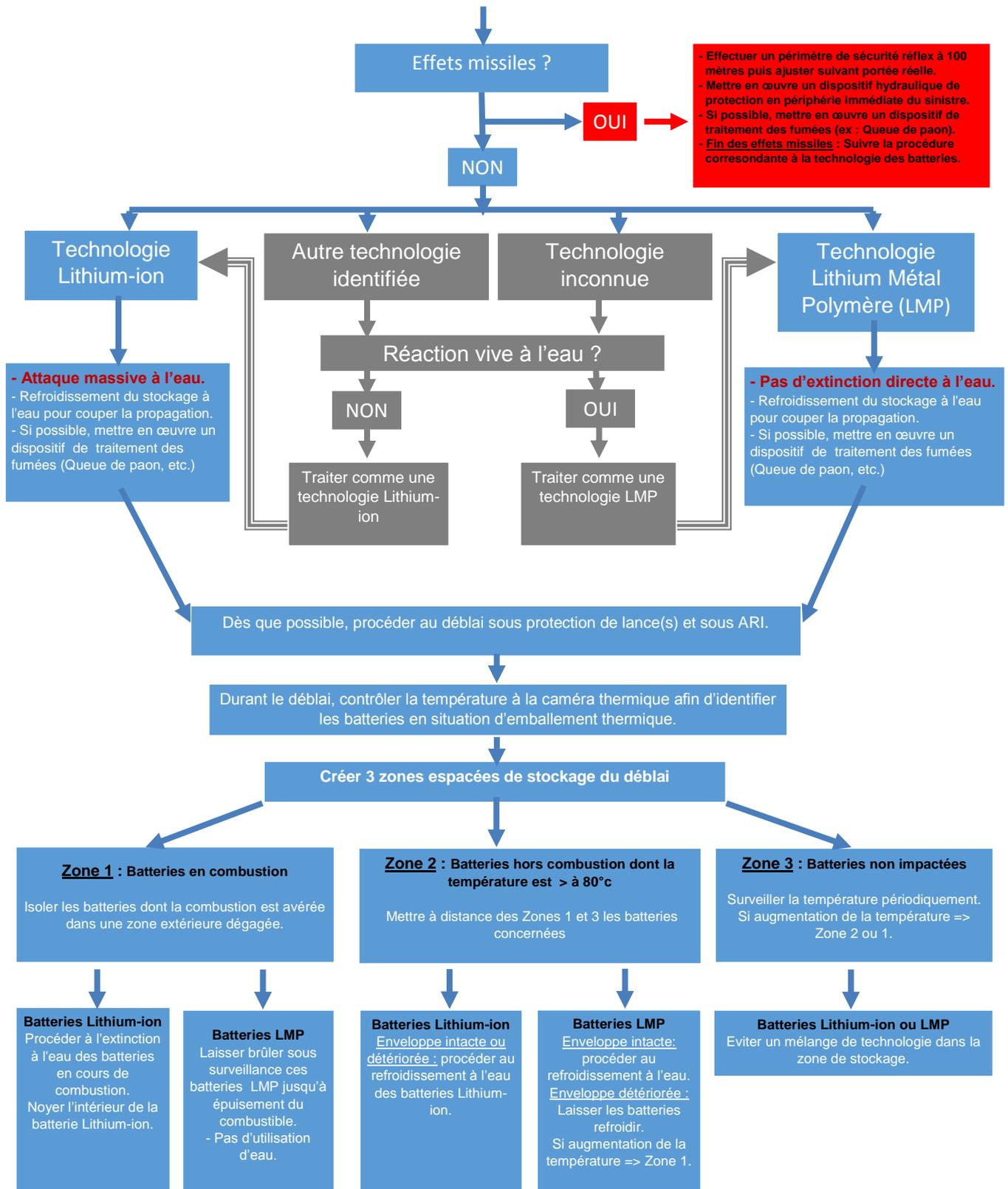
- > Eviter les effets domino aux autres batteries à proximité (part du feu, refroidissement des cellules/batteries non emballées)
- > Procéder à l'extinction des batteries soumises à emballage, par noyade à l'eau
- > Eviter la propagation des fumées et de l'incendie au reste du bâtiment
- > Protéger les populations du risque toxique (dilution des fumées, confinement ou évacuation, réseau de mesure)
- > Limiter la pollution de l'environnement (rétention des eaux d'extinction)

FAC 2018-03	<b>FICHE DE DOCTRINE OPERATIONNELLE</b>	INC
GDP	FEU DE STOCKAGE DE BATTERIES DE TRACTION	Page 2/2

<b>PRECONISTATIONS OPERATIONNELLES</b>	
Phase de reconnaissance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier la nature de l'activité du bâtiment impacté :               <ul style="list-style-type: none"> <li>-&gt; Stockage de matières premières avant fabrication</li> <li>-&gt; Zone d'assemblage de batteries</li> <li>-&gt; Stockage de batteries finies</li> <li>-&gt; Recyclage de batteries</li> </ul> </li> <li>- Identifier le type de batteries concernées par le sinistre (format de cellules, technologie employée)</li> </ul>
Phase d'attaque	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Favoriser une attaque massive du foyer, à l'eau</li> <li>- En l'absence d'effet missile et de réaction violente à l'eau, privilégier les méthodes offensives sur les batteries emballées visant à obtenir un noyage à cœur (injection d'eau par l'endroit où sortent les flammes, par l'accès thermo fusible).</li> <li>- Optimiser le cheminement d'attaque pour éviter la propagation des fumées au reste du bâtiment.</li> <li>- Dilution des fumées chargées en Fluorure d'Hydrogène par rideaux d'eau ou LDV en jet diffusés d'attaque (captation de l'HF par l'eau -&gt; acide fluorhydrique).</li> <li>- Faire la part du feu en soustrayant les batteries non directement impactées par le sinistre.</li> </ul>
Phase de déblai	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isoler les batteries impactées par le sinistre à l'extérieur du bâtiment</li> <li>Fragmenter le risque en éloignant les batteries les unes des autres</li> <li>Immerger les batteries impactées</li> </ul>
Phase de surveillance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre l'évolution de la température en effectuant des relevés à la caméra thermique</li> <li>Risque d'emballement d'une batterie endommagée plusieurs jours après</li> </ul>
Phase de reconditionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respect du protocole déshabillage et décontamination des tenues de feu.</li> </ul>

# - Feu de stockage batteries de puissance -

(Toutes les étapes sont impérativement réalisées sous ARI et EPI complets)



## Conclusion

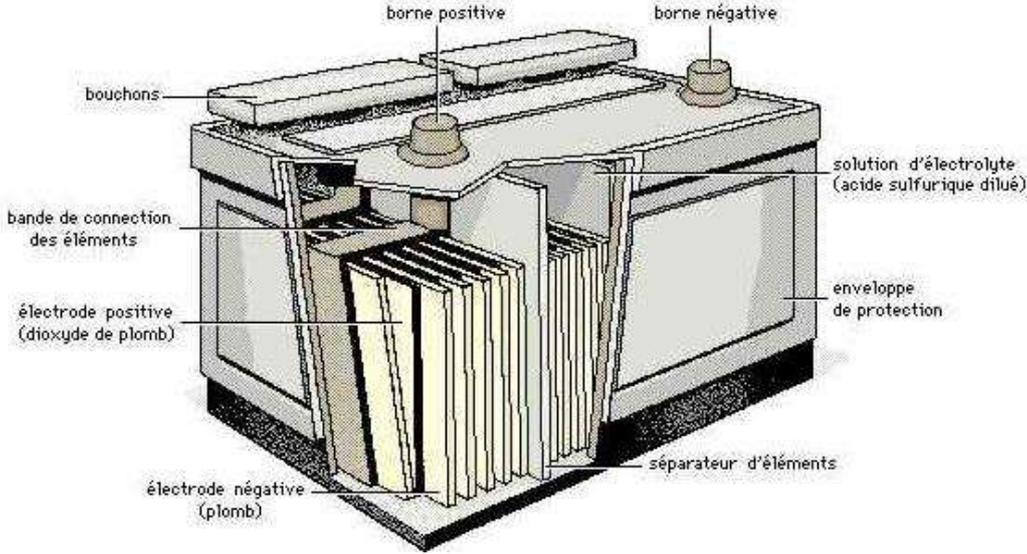
Pour conclure, le risque lié aux batteries lithium est un risque connu. Dans la majorité des cas, un incendie concernant un stockage de batteries n'est pas différent d'un incendie de stockage de matière combustible (emballages, papiers, plastiques, cartons...).

Le risque ajouté par un stockage de batteries est celui de l'emballement d'une ou plusieurs unités. L'emballement d'une batterie peut être lié à un défaut de fabrication, à un choc, à un défaut lors de la charge, ou encore lié à un environnement thermique agressif. Ce phénomène se présente sous la forme d'une décharge rapide des accumulateurs, provoquant une autocombustion à fort pouvoir calorifique et fumigène pouvant projeter des gouttes de métal en fusion ou des parties de batterie incandescentes à plusieurs dizaines de mètres. Le phénomène de réaction en chaîne par effet domino est à craindre dans le cas d'un stockage de plusieurs batteries.

La locomotion électrique est amenée à se développer fortement et rapidement en France. Déjà, des véhicules électriques légers sont à disposition dans nos métropoles, entraînant de nombreux stockages de batteries. Ce document propose des solutions de maîtrise du risque adaptées aux technologies existantes afin que les sapeurs-pompiers puissent travailler en toute sécurité.

Il constitue un référentiel adaptable aux situations rencontrées en opération. Les solutions proposées sont amenées à évoluer avec les nouvelles technologies. Il conviendra d'effectuer une veille des innovations.

## Annexes :

 <p>ENSOSP Ecole Nationale Supérieure des Officiers de sapeurs-pompiers</p>	<p>Annexe n°1 : Les batteries plomb-acide sulfurique</p>	 <p>DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SÉCURITÉ CIVILE ET DE LA GESTION DES CRISES</p>
<p><u>Description de la technologie :</u></p> <p>Une batterie au plomb est un ensemble de plaques de plomb (positives et négatives) immergées dans une substance acide appelée électrolyte (mélange eau + acide sulfurique).</p> <p>La production d'électricité se fait par conversion de l'énergie chimique en énergie électrique par la réaction des électrodes (anode et cathode) avec l'électrolyte.</p>  <p>Le schéma illustre une batterie plomb-acide avec les étiquettes suivantes : borne positive, borne négative, bouchons, bande de connection des éléments, électrode positive (dioxyde de plomb), électrode négative (plomb), séparateur d'éléments, solution d'électrolyte (acide sulfurique dilué), et enveloppe de protection.</p>		
<p><u>Utilisation :</u></p> <p>On retrouve ces batteries dans tous les véhicules. Il s'agit de la batterie du démarreur, des phares etc...</p>		
<p><u>Avantages :</u></p> <p>Peu coûteux et simple à fabriquer, pas d'effet mémoire, bonne durée de vie</p>	<p><u>Défauts :</u></p> <p>Poids élevé, faible autonomie, sensible au froid et difficilement transportable en raison d'acide liquide. Environnemental : l'électrolyte et la teneur en plomb peuvent polluer l'environnement.</p>	
<p><u>Risque électrique :</u> choc électrique, électrisation.</p> <p><u>Risque explosif :</u> dégagement d'une faible quantité de H<sub>2</sub> pendant la charge.</p> <p><u>Risque chimique :</u> présence d'acide sulfurique (graves brûlures par contact avec la peau, les yeux, les muqueuses, ...).</p> <p><u>Danger pour l'environnement :</u> présence de plomb et d'acide sulfurique.</p>		

Description de la technologie :

L'accumulateur nickel-cadmium utilise de l'hydroxyde de nickel et du cadmium comme électrodes.  
L'électrolyte est composé d'une solution aqueuse concentrée d'hydroxyde de potassium  $K^+ + HO^-$ .

Aujourd'hui, à cause des problèmes de recyclage de cadmium, ces accumulateurs sont remplacés par les accumulateurs nickel-hydrure métallique et les accumulateurs aux ions lithium.



Utilisation :

Les petits accumulateurs nickel-cadmium sont utilisés dans les outils électriques (perceuses, aspirateurs, ...) les appareils de communication, les équipements médicaux (respirateurs, défibrillateurs, ...).

Les plus gros modèles sont employés dans les trains (batterie de secours dans les TGV duplex), les bateaux électriques (batterie d'alimentation des navettes fluviales du canal Saint Denis à Paris), dans les alimentations de secours des armoires de télécommunication ou dans les systèmes d'énergie photovoltaïque, solaire ou éolienne.

Avantages :

Plus légères que le plomb et plutôt bon marché, cette technologie a fait ses preuves notamment par ses performances à basse température et son non-vieillesse prématuré à haute température. Elles acceptent les forts courants et peuvent stockées avec un faible niveau de charge. Leur charge est simple et rapide, même après une longue période de stockage, et notamment à froid. Elles ont une grande durée de vie en nombre de cycles de charge et de décharge.

Défauts :

Elles ont un effet mémoire désagréable (affection des performances) et il faut donc décharger complètement la batterie avant de la recharger. Elles ont une faible tension et un taux important d'auto décharge de 10 % à 20 % /mois (autonomie moyenne). Elles sont assez polluantes à cause du cadmium.

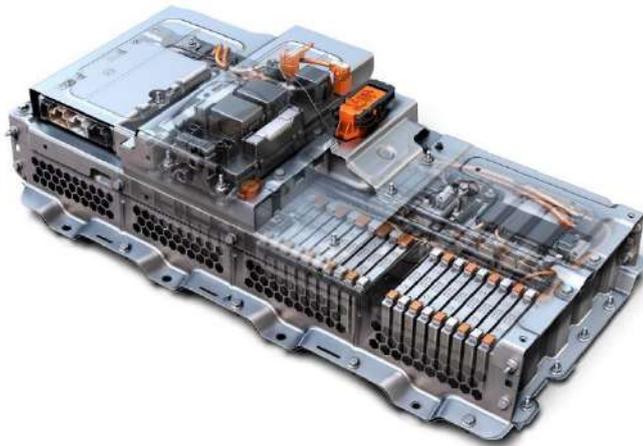
Risque électrique : choc électrique, électrisation.

Risque toxique et environnemental : présence de cadmium (intoxication au cadmium) et de nickel (allergie, intoxication).

Description de la technologie :

La batterie lithium-ion est basée sur l'échange réversible de l'ion lithium entre une électrode positive, le plus souvent un oxyde de métal de transition lithié (dioxyde de cobalt ou manganèse) et une électrode négative en graphite.

Cette technologie existe depuis le début des années 1990. La tension nominale d'un élément Li-ion est de 3,6V.



Utilisation :

Initialement créées pour l'électronique portable, on les retrouve également dans les batteries de grande puissance liées à la mobilité du fait de leur haute densité énergétique (Nissan Leaf, Tesla, mais aussi aéronautique).

Avantages :

Pas d'effet mémoire.  
Taux d'autodécharge très faible (moins de 10%/an).  
Rendement proche de 100%.  
Haute densité énergétique (poids réduit).

Défauts :

Chères à fabriquer (40% plus cher que le nickel cadmium). Le Lithium est un métal rare dont les stocks ne sont pas illimités. Elles sont fragiles et peuvent connaître des problèmes de sécurité. Sensibles au froid et à la chaleur (emballement possible dès 60°C). Pack batterie de forme limitée.

Risque électrique : choc électrique, électrisation.

Risque explosif et incendie : comportement dangereux en cas de surcharge, et notamment l'emballement thermique et ses effets impressionnants et destructeurs.

Danger pour l'environnement : présence de lithium.

Description de la technologie :

L'électrolyte est un polymère gélifié. L'accumulateur Li-ion polymère utilise un principe de fonctionnement semblable aux accumulateurs Li-ion et a des caractéristiques proches.



Utilisation : Les batteries au lithium sont la source d'énergie de la plupart des smartphones, tablettes, ordinateurs portables modernes, ULMs, vélos à assistance électrique, motos, scooters, karts, ainsi qu'en motorisation principale ou de secours des bateaux.

Avantages :

Batteries pouvant prendre des formes fines et variées. Peuvent être déposées sur un support flexible.  
Faible poids, mais plus fragile que la Li-ion (pas d'enveloppe mécanique).  
Plus de cycles de vie (200 à 300 cycles en général).  
Plus sûres que les Li-ion (plus résistantes à la surcharge et aux fuites d'électrolytes).

Défauts :

Plus cher que le Li-ion.  
Densité énergétique moins élevée que les Li-ion.  
Très sensible aux chocs.

Risque électrique : choc électrique, électrisation

Risque toxique et environnemental : l'électrolyte polymère est très corrosif, toxique et inflammable.

Description de la technologie :

La densité massique (110 Wh/kg) est inférieure au Li-Ion mais 2.5 fois supérieure à la batterie plomb. Il n'y a pas d'effet mémoire (pas besoin de vider complètement l'accumulateur avant de le recharger).

La durée de vie annoncée des batteries utilisant cette technique est de l'ordre de dix ans.



Utilisation : Cette batterie a été développée en particulier pour équiper les Bluecars, voitures en libre-service (autolib).

Avantages :

Entièrement solide (pas de risque d'explosion).  
Pas de polluant majeur dans la composition de l'accumulateur (sauf si utilisation d'oxyde de vanadium).  
Recyclage facile (par broyage et séparation des composants).

Défauts :

Fonctionnement optimal à température élevée.  
Puisse dans ces propres réserves pour maintenir cette température. Une batterie froide doit être réchauffée pour être utilisée.

Risque électrique : choc électrique, électrisation.

Forte réaction à l'eau : la présence de lithium métallique réagit vivement à l'eau et produit de l'hydrogène.

Danger pour l'environnement : présence de lithium, potentiellement d'oxyde de vanadium.

## Annexe n°6 : lettre de cadrage

Le Capitaine Lambert  
Chef de projet

SDIS W  
Rue du Lieutenant Parayre  
Aix-en-Provence

Mme Muriel Abatini  
coordinatrice des formations de gestion de projet  
ENSOSP

PROJET : étude des feux de stockage de batteries de puissance

Objet : lettre de cadrage

Madame,

Veuillez trouver ci-joint les éléments relatifs au cadrage de notre projet.

### CONTEXTE :

Volonté politique de développement de la filière électrique, hausse des coûts des hydrocarbures. Evolution technique des matériels, masse produite de plus en plus importante, problématique du traitement des déchets. Prise de conscience environnementale. Nombreux constructeurs, enjeux économiques importants.

### PROBLEMATIQUES :

Externes : la démocratisation des véhicules électriques. Multiplications des quantités de batteries stockées.  
Internes : Implantation de plusieurs sites sur le département. Anticipation du risque émergeant.

### PERIMETRE DU PROJET :

Batterie Lithium Ion, Lithium Polymère, Lithium Métal Polymère, quelle que soit leurs utilisations.

### RISQUES DU PROJET :

Peu de retour d'expérience. Pas de réglementation. Eventail de technologie très large. Risque émergeant encore très faible. Temps réduit pour l'étude. Budget très limité. Evolution très rapide des technologies / inertie du système. Crainte des industriels de subir une réglementation couteuse.

### OBJECTIF PRINCIPAL

Rédaction d'un document synthétique à vocation opérationnelle.

### OBJECTIFS SECONDAIRES

Réaliser un livrable applicable à d'autres SDIS que le SDIS W.

Assurer la pérennité de ce document dans le temps.

Procéder à la révision des documents réglementaires (SDACR / RO / RI / Règlement habillement).

### COMMUNICATION :

Communication vers les acteurs du secteurs (producteurs, utilisateurs et recycleurs) non alarmante. Il ne faut pas que les industriels nous voient comme une future contrainte réglementaire couteuse mais plutôt comme une aide à la sécurisation de leur site.

Communication interne sur l'existence de la procédure.

Annexe n°7 : lettre de commande



Mme ABATINI Muriel  
Coordinatrice de la discipline Gestion de Projets  
1070, rue du lieutenant Parayre  
13100 AIX-EN-PROVENCE  
04.42.39.04.06.20

au

Capitaine Lambert Martin  
FAC 2018-03  
Chef de projet

*Aix en Provence, le 03/10/2018*

**Objet :** Feu de stockage de batteries (unité de production, vente, recyclage etc.) avec la montée en puissance des moyens de locomotion électrique.

Capitaine,

Dans le cadre de votre formation, initiale ou d'adaptation, de capitaine, vous devez, au cours de votre cursus, mener une gestion de projet ; veuillez trouver ci-joint la commande suivante.

Je vous missionne en tant que chef de projet afin de réaliser une analyse détaillée d'un risque émergent : le feu de stockage de batteries.

Je vous demande de me présenter vos solutions techniques, organisationnelles, préventives et opérationnelles qui pourront servir de guide à nos services opérations et prévention le 17 janvier 2019.

Pour ce faire, vous pourrez compter sur le soutien de l'encadrement de l'ENSOSP, de sa structure et de son matériel.

Je vous confie le soin de constituer votre équipe projet.

Le premier point de situation aura lieu le 11/10.

Veuillez agréer, Monsieur, mes salutations distinguées.

*Mme ABATINI Muriel*

## Annexe n°8 : Références

### **Bibliographique**

Etude d'impact des feux de véhicules électriques (RENAULT) sur les intervenants des services de secours – LCPP – réalisé le 2 avril 2012.

RAPPORT D'ÉTUDE Juillet 2014 INERIS-DRC-14-141681-06454A

Déchets de batteries au lithium : classement et état des lieux des filières de gestion.

RAPPORT D'ÉTUDE 06/06/2011 INERIS-DRA-10-111085-11390D

Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques Analyse préliminaire des risques.

RAPPORT D'ÉTUDE 30/09/2010 INERIS-DRA-10-111085-10531B

Accidentologie relative aux systèmes de stockage d'énergie électrochimique : analyse du retour d'expérience.

INERIS référence – le point d'études sur la maîtrise des risques octobre 2012 – batteries et sécurité.

Etude BARPI : Accidentologie liée à la fabrication, à l'utilisation au stockage et au recyclage de batteries et piles au Lithium.

Impact des feux de VE : le retour d'expérience des différents essais réalisés (journée technique IUV SDIS86 - GODR Interventions d'Urgence sur Véhicule).

Dossier CHSCT : La prévention des risques professionnels liés aux piles et accumulateurs électriques.

### **Réglementaires :**

Arrêté du 3 août 2018 relatif aux ateliers de charge contenant au moins dix véhicules de transport en commun.

Rubrique ICPE 1510.

NDO IUV – DGCSGC.

### **Retour d'expérience sapeurs-pompiers :**

- Feu d'un magasin de vélos électriques à la Réunion.
- Lyon 2016, pas d'attaque d'une batterie LMP emballée car production d'HF.
- Feu de garage automobile SDIS 78 – Retex formalisé.
- Feu de local de stockage de batteries Kremlin-Bicêtre 2018 – Contact Capitaine POUTRAIN BSPP.

### **Rapport de visite, de réunion, contact sapeurs-pompiers :**

Contact avec le Capitaine COL, prévisionniste du SDIS29.

Forsee Power – Chasseneuil du Poitou – SDIS86.