

PAR COURRIEL

Québec, le 18 juillet 2024

Objet : Demande d'accès n° 2024-06-013– Lettre de réponse

Monsieur,

La présente fait suite à votre demande d'accès, reçue le 6 juin dernier, concernant les études, rapports et analyses des cinq dernières années sur les déchets, sous-produits et extrants de la filière batterie et des risques (de tous types), qui y sont inhérents.

Les documents suivants sont accessibles. Il s'agit de :

1. BatterieLi_ion, 8 pages;
2. Demande 2024-06-013 - filière batterie, 1 page;
3. Rapport_Propulsion_Lithium_Final, 34 pages.

De plus, nous vous informons que nous ne pouvons pas vous remettre un document demandé appartenant à Environnement Canada. Notre décision s'appuie sur l'article 18 sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (RLRQ, chapitre A-2.1).

Conformément à l'article 51 de la Loi, nous vous informons que vous pouvez demander la révision de cette décision auprès de la Commission d'accès à l'information. Vous trouverez, en pièce jointe, une note explicative concernant l'exercice de ce recours ainsi qu'une copie de l'article précité de la Loi.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, vous pouvez communiquer avec M^{me} Maissa Ndiaye, analyste responsable de votre dossier, à l'adresse courriel Maissa.Ndiaye@environnement.gouv.qc.ca, en mentionnant le numéro de votre dossier en objet.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Pour le directeur,

ORIGINAL SIGNÉ PAR

Martin Dorion

p. j. 5

Batteries Li-ion – Composition générale et composés émis lors de combustion et de lixiviation

Les batteries de type Lithium ion (Li-ion) sont généralement composées d'une cathode, d'une anode, d'un sel électrolytique dissout dans un solvant, d'un fil conducteur et d'une enveloppe externe correspondant respectivement à environ 25-30%, 15-30%, 10-40%, 1-10% et 1-10% du poids total de la batterie [1]. Le nom de la batterie correspond généralement à sa cathode.

Tableau 1. Types de cathodes

Cathodes (Nom commun)	Composés (N° CAS)	MD selon le RMD	Utilisations courantes et commentaires
Lithium métal	Li (7439-93-2)	Matière inflammable (par. 4°)	Batteries primaires (aussi nommées « première génération ») seulement, c.-à-d. batteries non-rechargeables
Lithium – Nickel cobalt aluminium (NCA)	LiNiCoAlO ₂ (193214-24-3)	Matière toxique (par. 3°)	Véhicules électriques Tesla
Lithium fer phosphate (LFP)	LiFePO ₄ (15365-14-7)	S/O	Véhicules électriques Tesla, panneaux solaires, véhicules motorisés
Oxide de lithium cobalt (LCO) [2]	LiCoO ₂ (12190-79-3)	Matière toxique (par. 3°)	Cellulaires, caméras, ordinateurs portables
Lithium – Oxide de nickel manganèse spinelle (LNMO)	LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ (346417-97-8)	Matière toxique (par. 3°)	
Lithium – Oxide de manganèse spinelle (LMO)	LiMn ₂ O ₄ (12057-17-9)	S/O	Véhicules hybrides, cellulaires, ordinateurs portables, outils électriques, équipements médicaux
Lithium – Oxide de nickel cobalt manganèse (NCM ou NMC) [3]	Li(NiMnCo)O ₂ (182442-95-1)	Matière toxique (par. 3°)	Vélos électriques, trains électriques, outils électriques, équipements médicaux
Lithium – Chlorure de thionyle	LiSOCl ₂ (7719-09-07)	Matière inflammable (par. 4°) Matière toxique (par. 3°)	

Tableau 2. Types d'anodes

Anode (Nom commun)	Composé (N° CAS)	MD selon le RMD	Utilisations courantes et commentaires
Graphite	C (7782-42-5)	S/O	Appareils électroniques
Graphène	C (1034343-98-0)	S/O	Systèmes de stockage d'énergie de haute capacité.
Lithium titanium oxide (LTO)	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (12031-95-7)	S/O	Trains électriques, lampadaires solaires, systèmes de stockage d'énergie, supercapaciteurs. Remplace le graphite dans les batteries avec cathode LMO ou NMC.
Silicium (Li-Si)	Si (7440-21-3)	S/O	Additif pour augmenter l'efficacité et la capacité de stockage d'énergie.

Tableau 3. Types de solvant

Solvant électrolytique [4] [5]	Composé (N° CAS)	MD selon le RMD
Chlorure de thionyle	SOCl ₂ (7719-09-7)	Matière inflammable (par. 4°) Matière toxique (par. 3°)
Ethylene carbonate	EC (96-49-1)	Matière toxique (par. 3°)
Diethyl carbonate	DEC (105-58-8)	Matière inflammable (par. 1°)
Propylene carbonate	PC (108-32-7)	Matière toxique (par. 3°)
Dimethyl carbonate	DMC (616-38-6)	Matière inflammable (par. 1°)
Ethyl methyl carbonate	EMC (623-53-0)	Matière inflammable (par. 1°)
Dimethoxymethane	DMM (109-87-5)	Matière inflammable (par. 1°)
Dimethoxyethane	DME (110-71-4)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
Diethoxyethane	DEE (629-14-1)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
Tetrahydrofuran	THF (109-99-9)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
2-Methyl-Tetrahydrofuran	2-Me-THF (96-47-9)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
4-Methyl 1,3-Dioxolane	4-Me-1,3-DL (1072-47-5)	Matière inflammable (par. 1°)
2-Methyl 1,3-Dioxolane	2-Me-1,3-DL (497-26-7)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)

Solvant électrolytique [4] [5]	Composé (N° CAS)	MD selon le RMD
1,3-Dioxolane	1,3-DL (646-06-0)	Matière inflammable (par. 1°)
γ-Butyrolactone	γ-BL (96-48-0)	Matière toxique (par. 3°)
γ-Valerolactone	γ-VL (108-29-2)	S/O
N-Methyloxazolidone	NMO (19836-78-3)	S/O
Methyl formate	MF (107-31-3)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
Methyl acetate	MA (79-20-9)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
Ethyl acetate	EA (141-78-6)	Matière inflammable (par. 1°)
n-Propyl acetate	PA (109-60-4)	Matière inflammable (par. 1°)
Methyl butyrate	MB (623-42-7)	Matière inflammable (par. 1°)
Ethyl butyrate	EB (105-54-4)	Matière inflammable (par. 1°)
Acetonitrile	AN (75-05-8)	Matière inflammable (par. 1°) Matière toxique (par. 3°)
Tetramethylene sulfone	TMSO (126-33-0)	S/O

Tableau 4. Types de sel électrolytique

Sel électrolytique [4]	Composé (N° CAS)	MD selon le RMD*
Lithium hexafluorophosphate	LiPF_6 (21324-40-3)	Matière toxique (par. 3°) Possiblement une matière lixiviable en raison du bore
Chlorure de lithium	LiCl (7447-41-8)	S/O
Chlorure d'aluminium	AlCl_3 (7446-70-0)	S/O
Lithium tétrafluoroborate	LiBF_4 (14283-07-9)	Matière toxique (par. 3°) Possiblement une matière lixiviable en raison du bore
Lithium hexafluoroarsenate	LiAsF_6 (29935-35-1)	Matière toxique (par. 3°) Possiblement une matière lixiviable en raison de l'arsenic
Lithium iodide	LiI (10377-51-2)	S/O
Lithium Trifluoromethane Sulfonate	LiCF_3SO_3 (33454-82-9)	S/O
Lithium Bis (Trifluoromethanesulfonyl) Imide	$\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ (90076-65-6)	Matière toxique (par. 3°)
Lithium Perchlorate	LiClO_4 (7791-03-9)	Matière comburante Matière toxique (par. 3°)
Lithium Bis(Oxalato)Borate	$\text{LiB}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ (244761-29-3)	Matière toxique (par. 3°) Possiblement une matière lixiviable en raison du bore
Tetraethyl-Ammonium Tetrafluoroborate	$(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{NBF}_4$ (429-06-1)	S/O
Triethyl-Methyl-Ammonium Tetrafluoroborate	$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{CH}_3\text{NBF}_4$ (69444-47-9)	Matière toxique (par. 3°) Possiblement une matière lixiviable en raison du bore et du fluorure

* Plusieurs sels sont possiblement une matière lixiviable en raison de leur composition en arsenic (As), bore (B) ou fluorure (F). Une analyse de lixiviation pourrait être effectuée.

Tableau 5. Certains composés émis lors de la combustion d'une pile Li-ion ou de sa réaction avec de l'eau

Produits de combustion [6] [7] [8]	N° CAS
Hydrogène	1333-74-0
Fluorure d'hydrogène	7664-39-3
Hydroxyde de lithium	1310-65-2
2-Propenal	107-02-8
1-Butanamine	109-73-9
2-Methyl-2-Propanamine	75-64-9
Propyleneoxide	75-56-9
Propanenitrile	107-12-0
Naphthalene	91-20-3
Ethyloxirane	106-88-7
1,3-Pentadiene	504-60-9
1,3-Cyclopentadiene	542-92-7
Sulfurdioxide	7446-9-5
Phosphoryl trifluoride	13478-20-1
Carbonyl sulfide	463-58-1
1-isocyanatobutane	111-36-4
Propanedinitrile	109-77-3
Ethyl methyl carbonate, EMC	623-53-0
Ethylene carbonate, EC	96-49-1
Diethyl carbonate, DEC	105-58-8

Produits de combustion [6] [7] [8]	N° CAS
Benzène	71-43-2
Toluène	108-88-3
Styrène	100-42-5
Biphényle	92-52-4
Acroléine	107-02-8
Sulfure de carbonyle	463-58-1
Oxyde de lithium	12057-24-8
Dioxyde de carbone	124-38-9
Monoxyde de carbone	630-08-0
Oxygène	7782-44-7
Phosphorous pentafluoride	7647-19-0
POF2(OH)	13779-41-4
Acide phosphorique	7664-38-2
Chlore	7782-50-5
Dioxyde de soufre	7446-09-5
Trioxyde de soufre	7446-11-9
Dichlorure de soufre	10545-99-0
Disulfure dichloride	10025-67-9
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0

Tableau 6. Autres éléments d'une pile Li-ion

Autres	Composé (N° CAS)	MD selon le RMD	Utilisations courantes et commentaires
Cuivre	Cu (7440-50-8)	S/O	Fil conducteur. (%/ batterie) [9] [10] [11] NCA: 13.3 LMO: 13.5 NMC: 16.6 LCO: 7.3 LFP: 8.2
Aluminium	Al (7429-90-5)	S/O	Fil conducteur et enveloppe. (%/ batterie) [9] NCA :21.9 LMO: 21.7 NMC: 22.72 LCO: 5.2 LFP: 6.5
Fer	Fe	S/O	Enveloppe. (%/ batterie) [9] [10] [11]

Autres	Composé (N° CAS)	MD selon le RMD	Utilisations courantes et commentaires
			NCA: 0.1 LMO: 0.1 NMC: 8.79 LCO: 16.5 LFP: 43.2
Plomb	Pb	Possiblement une matière lixiviable en raison du plomb	Enveloppe
Sodium Carboxymethyl Cellulose	[C ₆ H ₇ O ₂ (OH) ₂ CH ₂ COONa] _n (9004-32-4)	S/O	Liant
Polypropylène (PP)	(C ₃ H ₆) _n (9003-07-0)	S/O	Liant
Polyethylene Terephthalate Ethylene Glycol Ester	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n (25038-59-9)	S/O	Liant
Polyvinylidènefluorure (PVDF)	(C ₂ H ₂ F ₂) _n (24937-79-9)	S/O	Liant

Tableau 7. Taux de lixiviation de métaux sur des batteries Lithium-ion provenant de téléphones cellulaires

Métal	Norme lixiviation RMD (mg/L)	TCLP* (mg/L) [5]
Arsenic	5.5	ND**
Baryum	100	ND – 1.50
Bore	500	S/O***
Cadmium	0.5	ND
Chrome	5.0	ND – 0.24
Plomb	5.0	ND – 33.10
Mercure	0.1	ND
Sélénium	1.0	ND

*Toxicity Characteristic Leaching Procedure – EPA Method 1311. Méthode prévue à la Liste des méthodes d’analyses du RMD

**ND : Non détecté

***S/O : Non analysé

Références

- [1] K. M. Winslow, S. J. Laux and T. G. Townsend, "A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 129, pp. 263-277, 2018.
- [2] Argonne National Laboratory, «Argonne Collaborative Center for Energy Storage Science,» [En ligne]. Available: <https://www.anl.gov/access>. [Accès le 12 10 2021].
- [3] J. Spangenberg, M. Timpane, C. Smith et E. Schussler, «Sustainable Materials Management (SMM) Web Academy Webinar: An Introduction to Lithium Batteries and the Challenges that they Pose to the Waste and Recycling Industry,» [En ligne]. Available: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-smm-web-academy-webinar-introduction-lithium-batteries-and>. [Accès le 12 10 2021].
- [4] N. P. Lebedeva et L. Boon-Brett, «Considerations on the Chemical Toxicity of Contemporary Li-Ion Battery Electrolytes and Their Components,» *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 163, n°16, pp. A821-A830, 2016.

- [5] D. H. P. Kang, M. Chen et O. A. Ogunseitan, «Potential Environmental and Human Health Impacts of Rechargeable Lithium Batteries in Electronic Waste,» *Environmental Science & Technology*, vol. 47, pp. 5495-5503, 2013.
- [6] «An Analysis of Lithium-ion Battery Fires in Waste Management and Recycling,» 2021.
- [7] F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist et. al., «Toxic Fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires,» *Science Reports*, vol. 7, n°110018, pp. 1-13, 2017.
- [8] A. Nedjalkov, J. Meyer, M. Köhring, A. Doering, M. Angelmahr, S. Dahle, A. Sander, A. Fischer et W. Schade, «Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries - Analysis and Safety Enhancement Solution,» *Batteries*, vol. 2, n°15, 2016.
- [9] L. Gaines, J. Sullivan, A. Burnham et I. Belharouak, «Life-Cycle Analysis for Lithium-Ion Battery Production and Recycling,» chez *90th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, 2011.
- [10] K. Richa, *Sustainable management of lithium-ion batteries after use in electric vehicles*, R. I. o. Technology, Éd., 2016.
- [11] X. Wang, G. Gaustad et C. W. Babbitt, «Targeting high value metals in lithium-ion battery recycling via shredding and size-based separation,» *Waste Management*, vol. 51, pp. 206-215, 2016.
- [12] J. Jiang et J. Dahn, «ARC studies of the thermal stability of three different cathode materials: LiCoO₂; Li[Ni_{0.1}Co_{0.8}Mn_{0.1}]O₂; and LiFePO₄, in LiPF₆ and LiBoB EC/DEC electrolytes,» *Electrochemistry Communications*, vol. 6, n°11, pp. 39-43, 2004.
- [13] J. Sun, J. Li, T. Zhou, K. Yang, S. Wei, NaTang, N. Dang, H. Li, XinpingQiu et LiquanChen, «Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery,» *Nano Energy*, vol. 27, pp. 313-319, 2016.

<i>DRAE</i>	<i>GESDOC</i>	<i>No document</i>	<i>Type document</i>	<i>Objet document</i>	<i>No intervenant</i>	<i>Intervenant</i>	<i>No lieu</i>	<i>Lieu</i>	<i>Date délivrance</i>	<i>Types de matières dangereuses résiduelles produites sur le lieu d'exploitation</i>	<i>Types de matières non dangereuses résiduelles produites sur le lieu d'exploitation</i>
DRAE de Montréal et de Laval (A)	7610-13-01-02007-10	402302134	Autorisation ministérielle	Entreposage de matières dangereuses résiduelles (batteries lithium-ion)	Y2219372	Transport Kangaroo inc.	14662837	Centre de Jardinage & Pavage Tutino inc. - 1421, boulevard St-Elzéar Ouest, Laval	2023-11-28	Aucune MDR produite sur le lieu du projet. Réception et entreposage de batteries lithium-ion à électrolytes liquides (Code E16 - Batteries et autres accumulateurs, selon la section 1 de l'annexe 4 du RMD).	Aucune.
DRAE des Laurentides (A)	7610-15-01-04428-10	402133340	Autorisation ministérielle	Exploitation d'une usine d'assemblage de batteries au lithium-ion pour véhicules électriques ainsi que d'un centre de recherche et de développement de véhicules électriques	Y2090076	la Compagnie Électrique Lion	X2191780	Électrique Lion - Usine Batteries	2022-10-05	Usine batteries: aucune. Les composantes non fonctionnelles sont recyclées. Centre innovation: huiles/lubrifiants, glycol, liquides de refroidissement, scellants, colles.	2 bâtiments: Emballages polypropylène, emballages carton, contenants vides, métal : Recyclage Déchets domestiques, résidus de scellants/colles : enfouissement
DRAE de la Montérégie (A)	7610-16-01-1206002	402041769	Autorisation ministérielle	Installation et exploitation d'une usine liée au recyclage des batteries lithium-ion - agglomération en briquettes	Y2075147	Métaux & Poudres Solumet inc.	X2186764	Métaux et Poudres Solumet inc. no 2	2021-09-14	Résidus poussiéreux et cartouches usées des dépoussiéreurs, Résidus liquides des matières humides reçues en vrac	Palettes en bois reçues avec les matières premières, super-sacs de matières premières, barils
DRAE de la Montérégie (A)	7610-16-01-1235301	402283886	Autorisation ministérielle	Exploitation d'un procédé de traitement de matières dangereuses résiduelles et des équipements d'épuration d'air de la production de concentrés de minéraux critiques	Y2216128	Lithion Saint-Bruno inc.	X2196687	13681475 Canada inc	2023-09-20	Solvants organiques non halogénés (halogénés organiques totaux< 0.15%), autres matières contaminées (absorbants contaminés par des huiles usées), huiles usées dont la concentration en BPC< 3 mg/kg, Boues et résidus contenant des métaux, Solides, poussières ou boues générés par les systèmes d'épuration d'air, Batteries et autres accumulateurs, poussières métalliques, anodes et cathodes usées	Acier, bois, carton/papier, vermiculite, aluminium, cuivre, plastique
	7610-16-01-1235302	402349737	Modification d'autorisation ministérielle						2024-04-24		
DRAE de l'Estrie (A)	7610-05-01-0396400	401971697	Autorisation ministérielle	Exploitation d'une usine de fabrication de véhicules électriques industriels	Y2199731	Motrec International inc.	X2183702	Motrec International inc.	2020-11-20	Poussières de métal, peinture en poudre, solvants adhésifs usés, huiles usées, canettes aérosols vides, filtres, batteries usées	Rebuts métalliques, de cartons et papiers
DRAE de Chaudière-Appalaches (A)	7610-12-01-07191-01	402342924	Autorisation ministérielle	Exploitation d'un centre d'entreposage et de traitement de matières dangereuses résiduelles	Y2216379	9466-2780 Québec inc.	X2196641	9466-2780 Québec inc.	2024-04-22	C'est un centre de transfert de MDR en général, mais peut entreposer des batteries au lithium ou autre. Donc pas de MDR produite lié aux batteries.	Aucune liée aux batteries.





**CENTRE
RISC**

CENTRE DE RECHERCHE
ET D'INNOVATION
EN SÉCURITÉ CIVILE
DU QUÉBEC



propulsion
Québec

Rapport de recherche

Juillet 2022

Étalonnage des meilleures pratiques pour l'entreposage des batteries à lithium-ion



Recherche et rédaction

Hussein Wazneh, chercheur
Fanny Audet-Paradis, professionnelle de recherche

Révision et approbation

Marie-Eve Drouin, directrice

Centre RISC

5000, rue Clément Lockquell
Saint-Augustin-de-Desmaures, Québec G3A 1B3
Courriel : risc@cndf.qc.ca

© Centre RISC, 2022

Table des matières

Table des matières	3
Liste des figures	5
Résumé	6
Remerciements	7
À propos du Centre RISC	8
Abréviations	9
Introduction	10
<i>Contexte</i>	10
<i>Problématique et objectifs</i>	10
Recension des écrits	12
1. <i>Le fonctionnement d'une batterie li-ion</i>	12
2. <i>Les dangers posés par les batteries li-ion</i>	13
3. <i>Les étapes du déclenchement d'un incendie dans une batterie li-ion</i>	14
4. <i>Les défis liés à un incendie dans des installations dédiées à l'entreposage des batteries li-ion</i>	16
5. <i>Les mesures de prévention appropriées</i>	16
5.1 Informations du fabricant	16
5.2 Les consignes de sécurité générales	17
5.3 Répartition en trois classes de performance	17
5.4 L'entreposage des batteries dans un environnement approprié	19
5.5 Système de surveillance de batteries au lithium-ion	20
6. <i>La lutte contre les incendies de batteries au lithium</i>	20
6.1 Extinction par l'eau	20
6.2 Technologie d'extinction par aérosol	21
6.3 Granulés d'extinction	22
7. <i>Normes et règlements</i>	23
Visites industrielles	24
<i>Visite des installations de Blue Solution</i>	24
<i>Visite des installations de BIXI Montréal</i>	25
<i>Visite des installations de UgoWork</i>	27
Conclusion	28
Annexe 1 : Recension des principaux accidents	29

Annexe 2 : Questionnaire des visites industrielles	31
Références	33

Liste des figures

Figure 1. Principe de fonctionnement d'une cellule li-ion (Parlons sciences, 2019)	13
Figure 2. Les différentes réactions d'une batterie li-ion soumise à des conditions de température élevées	14
Figure 3. Cycle de défaillance d'une batterie lithium-ion (adaptée de Levitt-Safety, 2021)	15
Figure 4. Les trois classes de batteries li-ion (adaptée de VdS, 2019).....	18
Figure 5. Li-ion Tamer un système de surveillance de BLI (Levitt-Safety, 2022).....	20
Figure 6. Exemple d'une compagnie qui vend l'additif d'extinction F-500 (Hazard Control Technologies, s.d.).....	21
Figures 7 et 8. Exemple de technologies d'extinction par aérosol (Stat-X, 2022; RSLFire, 2022)	22
Figure 9. Exemple de granulés d'extinction (Extron Modellbau, s.d.)	22
Figure 10. Exemple de marquage de marchandises dangereuses (Touchette et coll., 2021).....	23
Figure 11. Exemple de batterie chez Blue Solution (Blue Solution, 2022).....	24
Figure 12. Photographies prises lors de la visite industrielle chez BIXI Montréal en janvier 2022	26
Figure 13. Exemple de batterie chez UgoWork (UgoWork, 2022)	27

Résumé

Aujourd'hui, les batteries au lithium-ion (BLI) en tant que sources d'entreposage d'énergie sont largement utilisées dans différentes technologies de pointe, telles que l'aérospatiale, le médical, l'automobile, les appareils photo numériques et les téléphones portables, en raison de leurs caractéristiques spécifiques dont la haute densité de puissance/énergie et leur durabilité. Le développement de telles batteries dans l'industrie automobile peut aider à diminuer les préoccupations concernant l'épuisement des combustibles fossiles et les problèmes environnementaux attribués à l'émission de dioxyde de carbone.

L'entreposage de BLI présente un risque d'incendie différent des matériaux plus traditionnels. En effet, les incendies associés à ces batteries sont généralement très difficiles à contrôler et le feu se propage rapidement. Du fait de la grande densité énergétique, une chaleur extrême pouvant aller jusqu'à 1000°C est libérée. Donc, pour refroidir la batterie et son environnement, la quantité d'eau nécessaire est nettement plus importante que celle des incendies classiques.

Comme il n'y a pas de réglementation légale ou de normes pour l'entreposage d'accumulateurs lithium-ion pour s'orienter, il revient aux entreprises de collaborer avec les pompiers, les compagnies d'assurances et les autorités compétentes afin de développer un concept de protection complet pour leur situation d'entreposage individuelle. Pour les appuyer dans leur démarche, le présent document présente des indications techniques et organisationnelles afin de prévenir et de limiter les incendies causés par les BLI et leurs conséquences. Les mesures et les solutions présentées sont tirées de la littérature (scientifique et grise) et de visites industrielles. Ces solutions sont des suggestions, qui peuvent être suivies isolément ou de façon combinée. Elles ne doivent pas être considérées comme suffisantes en elles-mêmes, car elles doivent éventuellement être complétées par des solutions spécifiques à la situation particulière de chaque entreprise. Les réglementations légales et les exigences officielles existantes ne sont pas affectées par ces indications.

Ce rapport est destiné aux spécialistes en protection incendie, aux autorités compétentes ainsi qu'aux entreprises disposant d'entrepôts dans lesquels sont entreposées des BLI.

Remerciements

Le présent projet a été réalisé grâce à un financement du ministère de l'Économie et de l'Innovation obtenu par Propulsion Québec¹. Propulsion Québec a pour mission de mobiliser tous les acteurs de la filière des transports électriques et intelligents autour de projets concertés ayant pour objectif de positionner le Québec parmi les leaders mondiaux du développement et du déploiement des modes de transport terrestre favorisant le transport intelligent et électrique.

Nous tenons à remercier l'équipe de Propulsion Québec pour leur soutien dans la planification des visites industrielles.

Nous souhaitons également remercier tous les organismes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet. Plus particulièrement, nous remercions Blue Solution, BIXI Montréal et Ugowork, membres de Propulsion Québec, de nous avoir permis de faire des visites guidées de leurs entrepôts ainsi que les employé.es de ces trois entreprises qui ont généreusement accepté de donner de leur temps pour participer à ce projet.

¹  <https://propulsionquebec.com/>



<https://www.linkedin.com/company/propulsion-quebec/>

À propos du Centre RISC

Le *Centre de recherche et d'innovation en sécurité civile du Québec* (Centre RISC) est un centre d'innovation et de recherche appliquée intégré au Campus-Notre-Dame-de-Foy. Sa mission est de soutenir l'innovation et l'amélioration des pratiques dans les secteurs de la sécurité civile et de l'intervention d'urgence. Le Centre RISC a accès à des expertises professionnelles reconnues en intervention policière, correctionnelle, sécurité incendie et soins préhospitaliers d'urgence et dispose d'expertises en recherche scientifique, tant du côté des sciences naturelles que des sciences sociales. Il compte à la fois sur son personnel, sur ses collaborateurs et sur les enseignants du collège afin d'offrir de l'accompagnement en recherche et développement (R-D), de la formation et des activités de transfert de connaissances et des services de soutien. Son caractère unique et sa capacité à faire converger les différentes activités de son offre de service permettent de développer et de mener des projets de recherche novateurs et de transmettre des connaissances théoriques, pratiques et technologiques de pointe dans le domaine de la sécurité civile et de l'intervention d'urgence.

Le Centre RISC participe également au développement technologique par l'amélioration de produits ou services et par l'élaboration et la mise à l'essai de nouveaux procédés ou d'équipements spécialisés. Il offre des services dont les résultats sont grandement bénéfiques quant à l'innovation en recherche, la qualité de la formation et du transfert de connaissances, le savoir-faire opérationnel et le développement ou l'amélioration des pratiques. Ainsi, la parfaite synergie entre le Centre RISC et le CNDF au niveau de la sécurité civile et de l'intervention d'urgence est mise à contribution au bénéfice de la recherche, du transfert technologique et de la formation.

Abréviations

BLI : Batteries Lithium-ion

TÉI : Transports électriques et intelligents

Wh : Wattheure (unité de mesure de la puissance énergétique fournie en 1 heure)

VdS : Union des assureurs de choses (en Allemagne)

SSI : Service de Sécurité Incendie

RF1 : Catégorie de réaction au feu des matériaux de construction sans contribution au feu

EI : Étanchéité feu et fumée et Isolation thermique

Introduction

Contexte

Récemment, de nouveaux systèmes d'énergie propre et renouvelable ont été développés pour réduire la pollution causée par la combustion de combustibles fossiles. La pression sociétale et politique, destinée à limiter les émissions de polluants et plus particulièrement ceux issus des moyens de transport, a fortement contribué à cette évolution. Ainsi, la nécessité de développer des technologies pour l'entreposage de ces énergies afin de mieux gérer ces ressources est devenue un enjeu mondial et un défi majeur. Les batteries lithium-ion (BLI) sont l'un des dispositifs d'entreposage électrochimique dans lesquels est entreposée l'énergie. Aujourd'hui, les BLI sont indispensables pour notre vie quotidienne : elles sont petites et efficaces et donc intéressantes pour de nombreuses applications. Non seulement les smartphones et les tablettes tirent leur énergie des BLI, mais celles-ci jouent également un rôle important dans le domaine de l'électromobilité. Une BLI se distingue notamment par sa densité d'énergie élevée, son faible poids propre et sa technologie de charge rapide.

Alors que la production de batteries s'impose comme un incontournable pour appuyer la croissance du marché mondial du véhicule électrique, le Québec dispose d'atouts formidables pour tirer parti du potentiel extraordinaire de création de richesse et de croissance de cette filière d'avenir. L'accès à une diversité de minerais stratégiques et la proximité aux constructeurs automobiles américains et ontariens permettent d'envisager avec grand optimisme le développement de ce secteur d'activité clé. Le besoin et la production croissants des BLI entraîneront une accélération du déploiement des entrepôts d'entreposage et de recyclage de ces batteries dans tout le pays. La sécurité ainsi que la prévention des risques incendies sont des facteurs qui doivent également être pris en compte tout au long du processus de production, d'entreposage et de recyclage de ces batteries.

Problématique et objectifs

Avec les normes de fabrication actuelles, les BLI sont considérées comme relativement sûres. En règle générale, le fabricant effectue différents tests de sécurité avant de mettre les produits (en série) sur le marché. Par exemple, le transport de BLI est autorisé seulement si un certificat de test conforme à la section 38.3 du *Manuel d'épreuves et de critères* de l'ONU est fourni [1,2]. Pour obtenir ce certificat, il faudra effectuer avec succès une série de tests dans lesquels les batteries sont testées dans diverses conditions de transport [1].

Néanmoins, en cas de choc, de surcharge, de surchauffe ou de défaut lié à la conception, les BLI peuvent s'enflammer et générer un incendie. Lorsqu'un de ces facteurs devient critique, l'électrolyte contenu dans la cellule de la batterie est soumis à une réaction chimique qui génère des gaz inflammables et toxiques [3, 4]. En rencontrant la chaleur interne devenue suffisamment élevée, la batterie s'enflamme et c'est le début de l'incendie [3]. Par ailleurs, de nombreux produits utilisant ces batteries ne sont pas conçus pour diminuer les risques et peuvent même être un accélérateur dans le développement de l'incendie [5]. Notons qu'en raison de leur densité d'énergie chimique et électrique très élevée, ces batteries ont une réaction au feu qui diffère considérablement des sources d'ignition et des combustibles classiques.

Les explosions et les incendies de BLI peuvent entraîner des conséquences désastreuses, des dommages conséquents ou, dans les pires cas, des blessures ou la perte de vies humaines [6]. C'est pourquoi il devient urgent d'aborder la question de la manipulation et d'entreposage sécurisé, non seulement pour les particuliers, mais surtout pour les entreprises. En effet, conformément à la Loi sur la santé et la sécurité du travail, les entreprises sont généralement tenues d'évaluer les dangers en cours d'exploitation et de les contrer par des mesures de protection appropriées [7]. Cependant, jusqu'à présent, il n'y a pas de réglementation légale pour l'entreposage d'accumulateurs lithium-ion pouvant être utilisée pour s'orienter.

Ainsi, ce projet a pour objectif de dresser le portrait des pratiques existantes à l'échelle mondiale pour l'entreposage des BLI, et ce, afin d'identifier les pratiques les plus sécuritaires et de développer un guide de pratique à l'usage des entreprises et des services de sécurité incendie pour les aider à mieux gérer les risques associés.

Pour ce faire, dans un premier temps, un recensement des normes et des bonnes pratiques nationales et internationales a été fait. Ce recensement regroupe la littérature scientifique, en plus de la littérature grise. Le but de cette étape est d'analyser et de comparer la documentation de divers pays et d'identifier les lacunes existantes dans les informations disponibles et dans les pratiques utilisées. Ensuite, un diagnostic de la situation et une analyse des risques dans des entreprises au Québec ont été réalisés en évaluant divers risques liés à l'entreposage des BLI et les pratiques des entreprises en sécurité incendie. En effet, un chercheur, le conseiller à l'innovation et un enseignant en sécurité incendie du CNDP ont été appelés à visiter différentes entreprises membres de l'organisme *Propulsion Québec* pour collecter des données qualitatives et quantitatives à l'aide d'une grille d'observation. Lors de ces visites, ils ont pu observer les différentes pratiques d'entreposage des batteries li-ion qui existent dans ces entreprises et identifier les plus sécuritaires. De plus, ces visites ont permis de connaître les besoins des entreprises en matière d'entreposage de BLI. Ainsi, ces deux étapes vont permettre de voir ce qui se fait sur le plan local, mais aussi international en matière d'entreposage et de gestion des risques.

Recension des écrits

Ce chapitre présente une recension des écrits destinée à identifier les pratiques existantes à l'échelle mondiale pour entreposer des BLI et gérer les risques d'incendie associés. Cette recension s'est déroulée en parcourant la littérature scientifique et grise sur le sujet à l'échelle nationale et internationale. Ce chapitre se divise en fonction des regroupements thématiques suivants :

1. Le fonctionnement d'une BLI;
2. Les dangers posés par les BLI;
3. Les étapes du déclenchement d'un incendie dans une BLI;
4. Les défis liés à un incendie dans des installations dédiées à l'entreposage des BLI;
5. Les mesures de prévention appropriées;
6. La lutte contre les incendies des BLI;
7. Les normes et règlements.

1. Le fonctionnement d'une batterie li-ion

Afin de pouvoir évaluer les risques posés par l'entreposage de BLI, il est très utile de connaître leur fonctionnement. Tout d'abord, il est important de savoir qu'il n'existe pas « une » batterie de lithium-ion. En effet, il y a une variété de systèmes d'entreposage d'énergie différents dans lesquels le lithium est utilisé à l'état pur ou sous forme liée. Plus précisément, une distinction est à faire quant aux cellules lithium-ion primaires (non rechargeables) et secondaires (rechargeables) [8]. Dans l'usage courant, ces dernières se réfèrent généralement à de BLI, ou mieux encore, à d'accumulateurs lithium-ion.

Un bloc de batterie est composé de plusieurs cellules en fonction de la puissance. Chaque cellule li-ion comprend une électrode positive, l'anode, et une électrode négative, la cathode [9]. Entre elles se trouve un électrolyte conducteur d'ions. Il garantit le transport des ions lithium entre les électrodes pendant le processus de charge ou de décharge. Les accumulateurs lithium-ion, dans lesquels un électrolyte liquide est utilisé, constituent la forme la plus connue de dispositifs d'entreposage d'énergie au lithium. Le séparateur est également un élément important. Il empêche le contact direct entre l'anode et la cathode, et évite ainsi un court-circuit. Lors du déchargement, des ions lithium et des électrons sont libérés du côté de l'anode. Les électrons traversent le circuit externe et effectuent le travail électrique. Pendant ce temps, les ions lithium migrent à travers le liquide électrolytique et à travers le séparateur vers la cathode. Lors du chargement, ce processus est inversé (voir figure 1).

Différents matériaux sont utilisés pour la cathode : le fer, le manganèse, le dioxyde de cobalt ou le nickel [8]. En fait, la composition exacte du matériau de la cathode détermine de manière significative ces propriétés, comme la durée de vie, les temps de charge et les performances [8].

L'électrolyte liquide est constitué d'un solvant organique et d'un sel conducteur. Malgré l'existence d'une grande variété de solvants possibles, l'hexafluorophosphate de lithium est presque exclusivement utilisé comme sel conducteur [8].

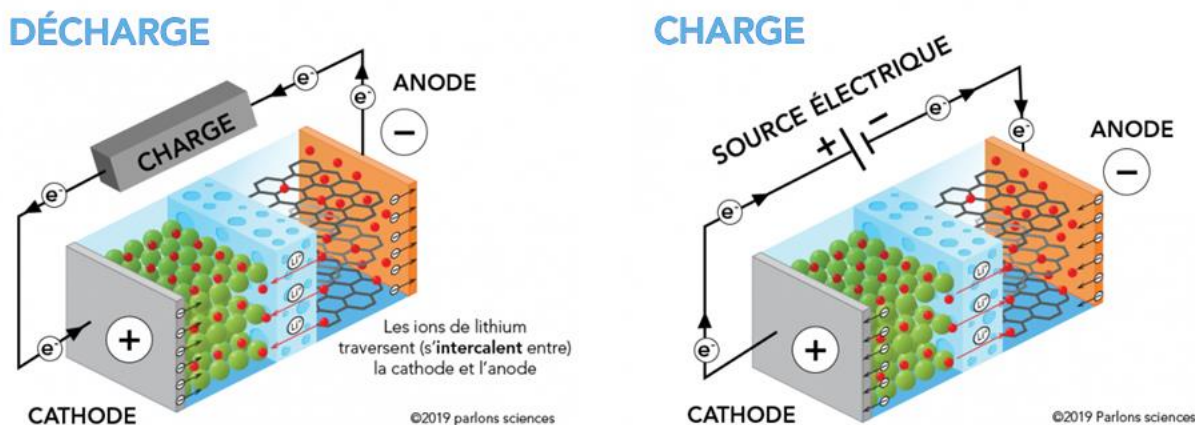


Figure 1. Principe de fonctionnement d'une cellule li-ion (Parlons sciences, 2019)

2. Les dangers posés par les batteries li-ion

Si les BLI sont mal manipulées ou mal entreposées, elles peuvent présenter un risque important pour la sécurité (voir Annexe 1 : Liste des principaux accidents survenus à la fabrication et/ou stockage des batteries lithium). D'après la littérature [3,4,5,17], voici les différents risques qui peuvent avoir une incidence sur la sûreté et la durabilité des batteries li-ion, rendant celles-ci susceptibles de s'enflammer ou d'exploser :

- **Surcharge électrique** : La surcharge se définit comme l'augmentation de la tension d'une ou de plusieurs piles de la batterie au-delà de la tension de charge maximale, ce qui entraîne des réactions irréversibles à l'intérieur des piles (comme l'oxydation de l'électrolyte et la dégradation de la matière). L'augmentation de la pression et de la température internes représente alors un danger imminent. La plupart des blocs-batteries offerts sur le marché comportent une protection contre les surcharges. Cependant, un chargeur de mauvaise qualité ou incompatible, une erreur humaine (mauvaise identification de la tension des piles), ainsi qu'une conception inappropriée de la batterie peuvent causer la surcharge de certaines piles par manque de protection ou d'équilibrage. Durant l'entreposage, le contact entre une batterie ou un groupe de batteries qui n'est pas physiquement immobilisé dans l'espace d'entreposage dont les bornes ne sont pas protégées et qui est en contact avec une surface conductrice peut provoquer un court-circuit.
- **Décharge profonde** : La décharge profonde consiste à utiliser la batterie jusqu'à ce que la tension d'une ou de plusieurs de ses piles devienne inférieure à la tension minimale, ce qui entraîne des réactions irréversibles à l'intérieur des piles (comme le placage de lithium). Ce phénomène n'est pas dangereux en soi, mais il altère, de façon permanente, la batterie qui peut alors devenir dangereuse lors des charges ultérieures, et ce, même à la tension et à l'intensité nominales. Une batterie ayant subi une décharge profonde doit être marquée immédiatement en vue de son élimination. La plupart des batteries offertes sur le marché comportent une protection contre la décharge profonde. Cependant, une erreur humaine (mauvaise identification de la tension des piles), ainsi qu'une conception inappropriée ou une défaillance du circuit d'équilibrage peuvent entraîner la décharge profonde de certaines piles.
- **Surintensité** : L'utilisation d'une batterie à une intensité plus élevée que l'intensité nominale peut provoquer la défaillance d'un fusible interne, rendant ainsi la batterie inutilisable de façon permanente. En l'absence de fusible, une surintensité peut provoquer un échauffement interne et, à long terme, un dégazage et un emballement thermique des piles. Une surintensité modérée n'aura peut-être pas d'effets négatifs immédiats, mais réduira considérablement la durée de vie en cyclage de la batterie et peut causer des incendies.
- **Température excessive** : L'échauffement d'une batterie au lithium ionique au-delà d'un certain point, à cause de son utilisation ou des conditions environnementales, engendre une décomposition exothermique de la matière, ce qui peut entraîner un emballement thermique. Ce point se situe généralement autour de 120 °C,

mais peut être aussi bas que 90 °C, selon la composition chimique des piles ou leur état de charge. À des températures plus modérées (60 °C), la batterie reste sûre, mais sa durée de vie en entreposage et en cyclage sera sensiblement réduite.

- **Température insuffisante :** Il faut éviter d'entreposer les batteries à des températures inférieures à la température minimale indiquée. Les variations dimensionnelles des piles peuvent avoir une incidence sur leur intégrité et leur fonctionnement. Il faut également éviter de décharger et de charger les batteries à des températures inférieures à la température minimale indiquée. La température de charge minimale est, dans la plupart des cas, beaucoup plus élevée que la température de décharge en raison de la nature des réactions chimiques qui se produisent. À noter que même au-dessus de la température minimale indiquée, il faut normalement réduire l'intensité utilisée.
- **Dommages matériels :** Les piles au lithium ionique et les circuits électroniques utilisés pour les protéger sont vulnérables aux dommages matériels. Les piles peuvent réagir violemment si elles sont écrasées ou percées. Sous l'effet de vibrations excessives, de chocs ou de dommages matériels, le système de gestion de batterie peut présenter des dysfonctionnements.

3. Les étapes du déclenchement d'un incendie dans une batterie li-ion

L'emballement thermique est un phénomène d'autoéchauffement potentiellement violent de la batterie [10]. Lorsque la batterie atteint une température limite, des réactions parasites exothermiques se produisent, ce qui chauffe d'autant plus la batterie. La forte chaleur qui est dégagée par une cellule lithium-ion en emballement thermique provoque une augmentation de la température des cellules adjacentes de façon suffisante pour déclencher leur emballement thermique et alimenter ainsi une réaction en chaîne qui peut être violente [10]. Le phénomène peut conduire à un feu de batterie, voire une explosion dans certains cas. La figure 2 montre les différentes réactions d'une batterie li-ion soumise à des conditions de températures élevées. Notons que les températures mentionnées dans cette figure ne sont pas absolues et dépendent de plusieurs facteurs.

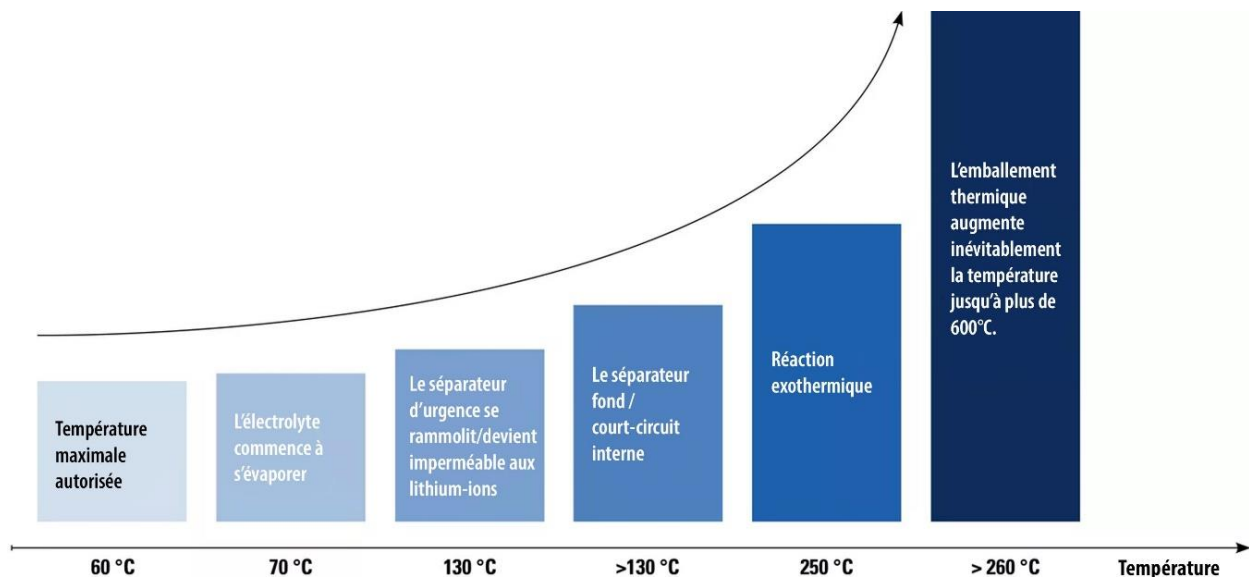


Figure 2. Les différentes réactions d'une batterie li-ion soumise à des conditions de température élevées (DENIOS, s.d.)

Dans leur cycle de défaillance, les batteries li-ion ont deux régions principales qui comportent quatre étapes (voir figure 3) :

1) Région de prévention : Si une panne de batterie est identifiée dans une région, il est possible d'arrêter la batterie et d'empêcher l'emballement thermique qui conduit à un incendie [11]. Cette région comporte deux étapes :

- **Abus de batterie** : Une panne de batterie au li-ion commence en raison d'un abus. Il peut s'agir d'un abus électrique, thermique ou mécanique. Le temps nécessaire à une batterie pour passer à l'étape suivante dépend du type d'abus. Une défaillance mécanique, comme une crevaison, peut entraîner des progrès immédiats. En cas d'abus thermique ou électrique, cela peut prendre entre 30 minutes et plusieurs heures pour qu'une batterie entre dans la deuxième étape. Notons que le système de gestion de la batterie (Battery Management Systems, BMS) est essentiel dans un système en pack de batterie au lithium-ion. Ce système gère un contrôle en temps réel de chaque cellule de la batterie, mesure la température et la tension. Donc il est la première ligne de défense contre les abus de batterie.
- **Production de gaz d'échappement** : En cas de panne, les batteries lithium-ion enclenchent un processus chimique qui produit de la vapeur d'électrolyte. Cette étape commence avant qu'une batterie ne subisse une panne critique complète.

2) Région de confinement : Une fois que la batterie est entrée dans cette région, vous essayez d'empêcher le feu de se propager et de causer des dommages supplémentaires [11]. Cette région comporte deux étapes :

- **Fumées** : Lorsque la fumée et la chaleur ont commencé à se manifester, c'est une indication que la batterie monte rapidement vers un emballement thermique complet. Il n'y a pas beaucoup de temps entre cette étape et le feu.
- **Feu** : Dès qu'il y a de la fumée, la cellule de la batterie devient très instable. Il peut survenir un incendie ou un démontage rapide à tout moment. À ce stade, la cellule génère sa propre chaleur et énergie. Les cellules ont des électrodes en oxyde métallique qui ajoutent de l'énergie et du carburant au feu de la batterie. Dans une batterie au lithium-ion à plusieurs cellules, le risque qu'un incendie se propage d'une cellule à l'autre est plus élevé. Une cellule défaillante peut propager sa défaillance à d'autres cellules de l'emballage, créant un événement très important et destructeur.

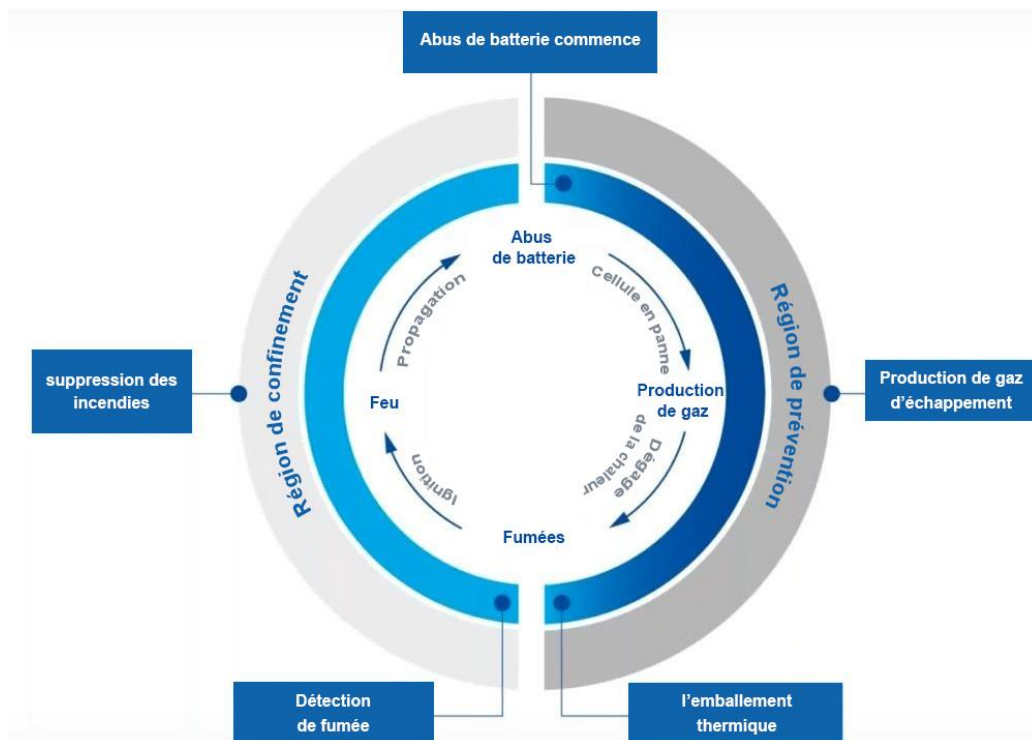


Figure 3. Cycle de défaillance d'une batterie lithium-ion (adaptée de Levitt-Safety, 2021)

4. Les défis liés à un incendie dans des installations dédiées à l'entreposage des batteries li-ion

Les installations dédiées à l'entreposage des batteries li-ion doivent appliquer des normes de sécurité strictes puisqu'il s'agit souvent de marchandises dangereuses.

- Une installation d'arroseurs automatiques (*sprinklers*) conçue pour des incendies classiques présente une certaine inertie lorsque les têtes d'arroseurs sont activées. Dans le cas d'un incendie de batterie lithium-ion, le feu peut se développer tellement rapidement que l'effet extincteur des arroseurs automatiques n'est pas suffisant et la surface active admise de l'installation est alors dépassée [12]. En réaction, un nombre trop élevé de têtes d'arroseurs sont activées, ce qui fait diminuer la pression du réseau d'arroseurs automatiques. L'efficacité de l'installation d'arroseurs automatiques s'en retrouve fortement réduite et l'incendie peut se propager de manière incontrôlée [12].
- De façon générale, les étagères n'ont pas de résistance au feu. Ainsi, étant donné les températures élevées régnant dans le local d'incendie, les étagères peuvent s'effondrer, entraînant la défaillance de l'installation d'arroseurs automatiques [12].
- Après un incendie, il est possible que les batteries éteintes s'enflamment à nouveau spontanément. L'utilisation d'ascenseurs pour retirer les marchandises brûlées n'est donc pas possible sans mesures supplémentaires [12].
- La fonctionnalité des installations de convoyage automatique ne peut plus être garantie après un incendie dans un entrepôt à hauts rayonnages. Les palettes de BLI éteintes doivent être retirées manuellement des étagères par des personnes protégées et équipées en conséquence, puisqu'il y a un risque de réinflammation des BLI [12].
- En raison de la densité énergétique très élevée, il faut s'attendre, en cas d'incendie, à ce que les éléments de construction du local d'entreposage subissent des températures beaucoup plus hautes que dans le cas d'incendies classiques [12]. Par ailleurs, il faut considérer que la libération rapide et puissante d'énergie dans le local d'incendie peut entraîner une surpression. Malgré la réalisation d'un compartimentage coupe-feu au niveau de la construction selon les meilleures pratiques, une défaillance des compartiments coupe-feu et des systèmes porteurs ne peut être exclue [12].
- Étant donné les températures très élevées attendues, il faut partir du principe que les forces d'intervention des pompiers ne pourront pas pénétrer dans le local d'incendie [12].

5. Les mesures de prévention appropriées

L'entreposage de batteries li-ion pose un dilemme à de nombreuses entreprises. En fait, il n'y a pas de réglementation légale pour l'entreposage d'accumulateurs lithium pouvant être utilisée pour s'orienter. Il appartient donc aux entreprises de définir et de mettre en œuvre les mesures appropriées. En raison, entre autres, du grand nombre de types de batteries différents, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de faire des déclarations générales sur les mesures et concepts de protection appropriés.

Un certain nombre de sources d'information [8; 13] auprès desquelles il est possible d'obtenir des indications sur l'entreposage sécurisé des batteries lithium-ion est présenté ci-dessous.

5.1 Informations du fabricant

Les informations générales sur la manipulation et l'entreposage sécurisé de ces produits, par exemple sur les températures optimales de fonctionnement et d'entreposage, sont généralement fournies par le fabricant []. Ces spécifications, qui se trouvent dans le mode d'emploi et/ou les fiches de sécurité, doivent être strictement respectées. Les fabricants sont également tenus d'informer les utilisateurs des substances contenues dans leurs produits et de leurs effets sur l'environnement et la santé humaine.

5.2 Les consignes de sécurité générales

Les consignes de sécurité générales sur l'utilisation quotidienne des batteries li-ion peuvent être simplifiées en quatre points :

Les contraintes thermiques peuvent affecter non seulement la durée de vie des batteries lithium-ion, mais aussi leur sécurité [27]. Par exemple, l'exposition prolongée au froid favorise les décharges profondes lors de l'utilisation. Si des batteries profondément déchargées sont ensuite reconnectées à un chargeur, un incendie peut se déclarer. Également, l'exposition directe des accumulateurs à des températures élevées ou à des sources de chaleur fait augmenter le risque d'incendie [27]. Les utilisateurs devront respecter les températures de fonctionnement et d'entreposage qui sont généralement recommandées par le fabricant.

Le contact avec l'humidité (par ex., précipitations, condensation ou éclaboussures d'eau) peut provoquer un court-circuit de l'accumulateur [27]. Il est donc recommandé d'entreposer les batteries au lithium-ion dans un endroit sec et de les protéger de l'humidité pendant le transport et l'utilisation.

L'une des causes les plus fréquentes d'incendie de batteries li-ion, principalement à la maison, est **l'utilisation de chargeurs incompatibles** [27]. Ceux-ci peuvent, par exemple, avoir une tension plus élevée que celle nécessaire à la batterie et la détruire. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser les chargeurs destinés à être utilisés avec le bon modèle de batterie.

Les **dommages mécaniques** peuvent entraîner la déformation des cellules à l'intérieur de la batterie et provoquer des courts-circuits internes [27]. Il est donc recommandé de ne jamais exposer les accumulateurs li-ion à un choc, coup ou collision. Si la présence de dommages est détectée, les batteries endommagées ne devraient plus être utilisées, mais enlevées immédiatement, entreposées séparément et éliminées de façon appropriée. Notons qu'il faut toujours porter des gants, des lunettes de protection, une blouse ignifuge et des chaussures de sécurité quand on manipule des batteries endommagées.

5.3 Répartition en trois classes de performance

En Europe, les assureurs ont commencé à rédiger des recommandations (p. ex., l'assureur *Vertrauen durch Sicherheit* (VdS) en Allemagne) et il est possible de les considérer comme équivalentes et tout aussi contraignantes que des réglementations officielles [voir 13]. En effet, le contenu énergétique d'une batterie lithium-ion défini comme la quantité maximale d'énergie fournie dans une heure exerce une forte influence sur sa réaction au feu. Sur le plan de la sécurité, il est donc pertinent de déterminer les mesures de protection en fonction du contenu énergétique, en particulier dans les entrepôts.

À la suite de plusieurs simulations, les accumulateurs d'énergie au lithium-ion ont été classés en trois classes de performance : puissance faible, puissance moyenne et puissance élevée [13] (voir figure 4). À cet effet, des règles de sécurité d'application générale ainsi que des règles de sécurité spécifiques pour leur entreposage en fonction de la classe de puissance sont spécifiées.

Ci-dessous sont présentées les **règles générales de sécurité pour les trois classes de performance** [13] :

- Respecter les recommandations du fabricant (fiches techniques des produits);
- Décharger les batteries à 30 - 40 % de leur charge nominale avant de les entreposer à long terme;
- Protéger les pôles de la batterie contre un court-circuit;
- Protéger les batteries contre les dommages mécaniques;
- Ne pas les exposer directement en permanence à des températures élevées ou à des sources de chaleur;

- Respecter d'une séparation structurelle (au moins 2,5 mètres), leur présence avec d'autres matériaux combustibles, si aucun système d'extinction automatique n'est disponible;
- Retirer immédiatement les batteries endommagées ou défectueuses des zones d'entreposage et de production;
- N'entreposer qu'exclusivement les batteries avec certificat d'essai, conformément à la section 38.3 du manuel de l'ONU [2];
- Garder l'espace d'entreposage propre et à l'ordre.

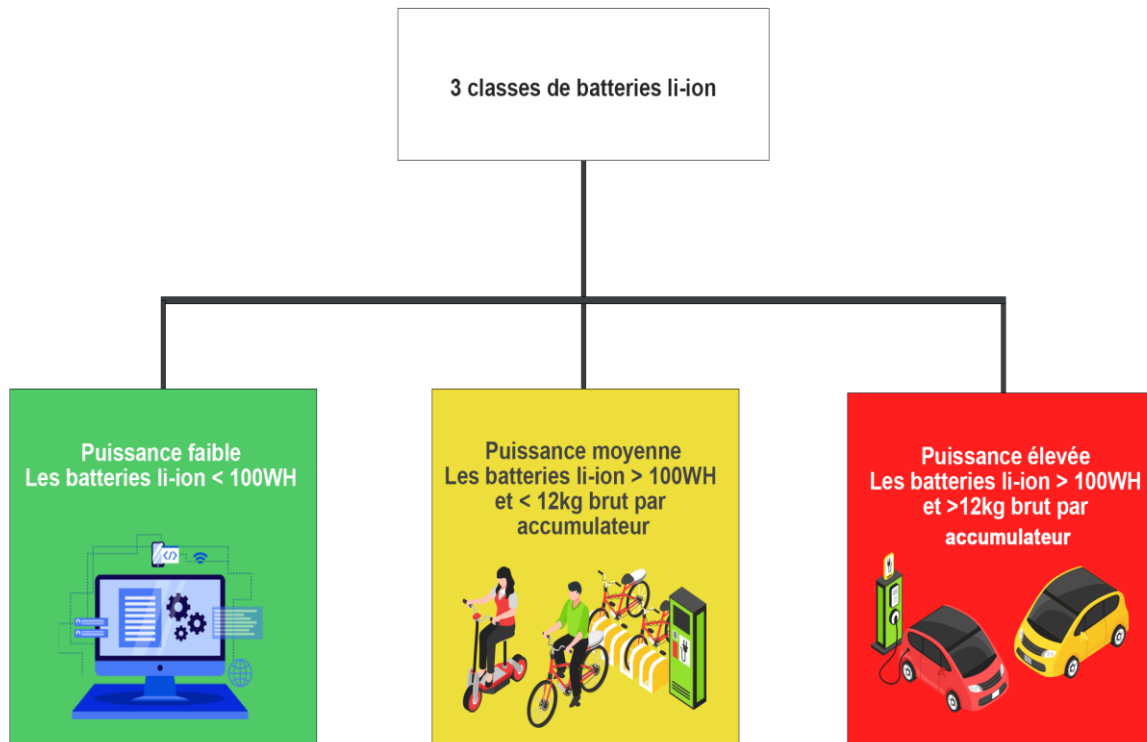


Figure 4. Les trois classes de batteries li-ion (adaptée de VdS, 2019)

Règles de sécurité spécifiques pour les batteries de puissance moyenne et élevée [13]. Ces règles sont appliquées si le total de la puissance énergétique des batteries entreposées est plus petit que 50000 Wh par m³ d'unité d'entreposage :

- Compartimentage coupe-feu des locaux d'entreposage avec une résistance au feu d'au moins EI 60 (résistance au feu de 60 minutes). Une solution alternative est un entrepôt dans un bâtiment d'un seul niveau en matériaux de construction RF1 qui n'est pas utilisé à d'autres fins et qui présente une distance de sécurité suffisante par rapport aux bâtiments et autres ouvrages avoisinants;
- Mise en place d'une installation d'extraction de fumée et de chaleur avec avertissement en cas d'incendie;
- Mise en place de postes incendies;
- Ouvertures menant directement à l'air libre;
- Entreposage de palettes sur deux couches au maximum, avec le bord supérieur des marchandises se situant à 2 m maximum du sol;

- Création de plans pour les pompiers;
- Création d'un concept de quarantaine pour les batteries endommagées;
- Aucun entreposage mixte avec d'autres produits combustibles;
- Surveillance de la zone d'entreposage grâce à un système d'alarme incendie approprié connecté à un site occupé en permanence;
- S'il y a un système d'extinction d'incendie, respect des informations relatives aux agents extincteurs appropriés dans les fiches techniques des produits.

Règles de sécurité spécifiques pour les batteries de puissance élevée [13]. Ces règles sont appliquées si le total de la puissance énergétique des batteries entreposées dépasse 50000 Wh par m³ d'unité d'entreposage :

- Entreposage séparé des batteries dans un petit compartiment coupe-feu (maximum 600 m²);
- Installation efficace d'arroseurs automatiques selon un standard reconnu pour l'entreposage des batteries li-ion (par exemple selon VdS CEA 4001, complété par VdS 3856);
- Système d'extinction à gaz inerte;
- Aucun entreposage dans les entrepôts à hauts rayonnages (entrepôts dans lesquels des allées sont aménagées et dont la hauteur, mesurée du sol au sommet des marchandises sur l'étagère la plus haute, est supérieure à 7,5 m);
- Système de protection contre la foudre;
- Ouvertures de décompression.

5.4 L'entreposage des batteries dans un environnement approprié

Les batteries au lithium doivent être traitées comme des produits dangereux. Il est fondamentalement recommandé de les entreposer et de les manipuler dans des zones résistantes au feu. Il est recommandé d'entreposer les batteries au li-ion dans une armoire réservée à cet effet [27].

- i) L'armoire doit être résistante aux températures élevées. Elles sont certifiées coupe-feu selon la norme EN14470-1² pour l'extérieur et EN1363-1³ pour l'intérieur. Bien qu'il existe des armoires spécialement conçues pour les batteries au lithium ionique, les armoires pour liquides inflammables sont aussi un bon choix.
- ii) La porte de l'armoire doit être munie d'un mécanisme de verrouillage garantissant qu'elle restera fermée en cas d'événement thermique.
- iii) Les surfaces devraient être non conductrices pour réduire les risques de court-circuit.
- iv) Éviter les bords coupants pour réduire les risques de perforation ou de déchirure des piles de type pochette.
- v) Dans la mesure du possible, l'armoire d'entreposage devrait être reliée au système de hottes du bâtiment, car les émanations d'électrolyte représentent un risque chimique pour le personnel qui se trouve à proximité.

Il faut que l'armoire soit placée à l'écart des zones où circulent des chariots élévateurs ou tout autre équipement lourd qui pourraient l'endommager. Il est aussi recommandé d'éviter de placer toute matière oxydante, combustible ou inflammable à proximité de cette armoire afin de réduire les risques en cas d'incendie. Lorsqu'il s'agit de batteries de véhicules électriques ou d'une grande quantité de batteries, il est conseillé de les entreposer à un minimum de 15 mètres des bâtiments ou d'autres entités inflammables. De plus, il serait nécessaire que l'emplacement de l'armoire soit indiqué dans la procédure et la documentation d'intervention d'urgence du bâtiment.

² EN14470-1 : Normes nationales et documents normatifs nationaux (normes françaises et européennes). *Armoires de stockage de sécurité incendie - Partie 1 : armoires de stockage de sécurité pour liquides inflammables.*

³ EN1363-1 : Normes nationales et documents normatifs nationaux (normes françaises et européennes). *Essais de résistance au feu - Partie 1 : exigences générales.*

5.5 Système de surveillance de batteries au lithium-ion

La détection précoce des pannes de batterie réduit considérablement les risques associés aux incendies et aux rejets de produits chimiques [14]. Cet avertissement avancé donne le temps de prévenir ou d'atténuer une panne de batterie qui pourrait autrement se transformer en incendie. L'étape de dégazage commence avant qu'une batterie ne subisse une panne critique complète et c'est pendant cette période que les systèmes de surveillance entrent en action. Les systèmes de surveillance de BLI sont capables de détecter les gaz d'échappement, ce qui donne une indication précoce de la panne de la batterie. Les systèmes peuvent également fermer les contacts et arrêter le flux d'énergie qui, autrement, répandrait la décomposition des cellules entre les batteries [14]. L'efficacité de ces systèmes dépendent



Figure 5. Li-ion Tamer un système de surveillance de BLI (Levitt-Safety, 2022)

6. La lutte contre les incendies de batteries au lithium

Les incendies de batteries lithium-ion sont considérés comme très difficiles à combattre. Les tentatives d'extinction des incendies, avec des agents inertes classiques, sont généralement infructueuses, car les batteries au lithium-ion produisent elles-mêmes l'oxygène nécessaire à l'incendie [28]. Lors du choix de l'agent d'extinction approprié, la taille et la quantité de batteries, mais aussi les conditions de fonctionnement jouent toutes un rôle. En général, il est important d'évaluer les risques et les dangers individuels présents dans l'entreprise et de développer un concept d'extinction et de protection contre l'incendie approprié en coopération avec des experts [28].

6.1 Extinction par l'eau

Les avis divergent quant à l'utilisation de l'eau comme agent d'extinction. Le lithium étant très réactif, certains déconseillent de le mettre en contact avec l'eau [28]. Cependant, des recherches récentes suggèrent que de plus grandes quantités d'eau sont capables de contenir et de combattre efficacement les incendies de lithium [28]. Les explications données ici incluent l'effet de refroidissement qui ralentit la réaction des cellules. Néanmoins, les grandes batteries, par exemple celles des voitures électriques en feu, représentent régulièrement un énorme défi pour les services d'incendie. Cela s'explique facilement par la structure d'une batterie de traction.

Une grande batterie de traction se compose de nombreuses petites cellules qui sont reliées entre elles [28]. Par conséquent, si une seule cellule chauffe, les cellules voisines sont inévitablement chauffées elles aussi. Il en résulte une réaction en chaîne, qui conduit à une libération d'énergie beaucoup plus importante. Si la réaction en chaîne a été déclenchée au centre de la batterie, il est très difficile de l'atteindre avec un agent d'extinction, par exemple de l'eau, et donc d'arrêter ou de contenir la réaction [28]. Lors d'une tentative pour refroidir un tel module, l'eau n'atteint que les couches extérieures ou le boîtier des batteries. La situation est différente avec les petits modules, où moins de cellules sont utilisées. Ici, le refroidissement externe a généralement un effet direct sur les cellules en réaction [28].

Toutefois, une quantité d'eau beaucoup plus importante est nécessaire pour combattre l'incendie que dans les incendies classiques [28]. Afin d'éteindre plus rapidement et, si possible, de réduire la quantité d'eau nécessaire, divers additifs peuvent être ajoutés à l'eau d'extinction. En cas de réaction, il y a également un risque que des substances nocives telles que l'acide chlorhydrique ou fluorhydrique soient sécrétées à l'intérieur de la cellule [28]. Elles peuvent se présenter, par exemple, sous forme de vapeurs et nuire aux personnes par contact avec la peau ou par inhalation. Pendant le processus d'extinction, ils peuvent être dilués par l'eau d'extinction, s'infiltrer dans le sol (si aucun dispositif de rétention approprié n'est disponible) et causer des dommages environnementaux.

L'additif d'extinction F-500 (ajouté à hauteur de 2 % à de l'eau) s'est révélé plus efficace que d'autres agents communément utilisés et à d'autres agents d'extinction (par ex., la mousse) sur le triple plan du refroidissement, de la pénétration de l'agent dans la batterie et de la réduction des gaz toxiques [15]. Le F-500 est un « agent d'encapsulation » en mesure d'envelopper (de confiner) les combustibles et les gaz inflammables, ce qui en bloque l'effet oxydant. Cette propriété contribue aussi à réduire l'impact des gaz de fumées toxiques qui peuvent être dégagés.



Figure 6. Exemple d'une compagnie qui vend l'additif d'extinction F-500 (Hazard Control Technologies, s.d.)

6.2 Technologie d'extinction par aérosol

Une autre possibilité d'utiliser une technique d'extinction pour les feux de lithium est la technique d'extinction par aérosol. Il s'agit d'un système technique opérationnel en permanence qui est utilisé pour éteindre l'incendie jusqu'à ce que les pompiers arrivent pour l'éteindre définitivement [29]. La technologie d'extinction fonctionne conformément à la norme EN15276-1⁴ sans ajout d'eau [29]. Le générateur d'extinction interrompt effectivement le processus de combustion chimique dans un délai de 4,5 à 15 secondes (selon le modèle) lorsque la température augmente [29]. Cette technologie est respectueuse de l'environnement et répertoriée comme « agent d'extinction de substitution HALON » officiel par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (U.S.EPA) [8].

⁴ EN15276-1 : Normes nationales et documents normatifs nationaux (normes françaises et européennes). *Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes d'extinction à aérosol - Partie 1 : exigences et méthodes d'essais pour les éléments constitutifs.*



Figures 7 et 8. Exemple de technologies d'extinction par aérosol (Stat-X, 2022; RSLFire, 2022)

6.3 Granulés d'extinction

Les granulés d'extinction isolent thermiquement la batterie [8]. L'effet d'extinction ou d'isolation est actif immédiatement et fonctionne de manière totalement indépendante. Cependant, la condition préalable est que les batteries soient recouvertes d'une quantité suffisante de granulés [8]. Plusieurs granulés d'extinction permettent de lutter contre les incendies naissants et sont testés et certifiés selon la norme NF EN3-7+A1⁵ pour les incendies de classes A, B, D et F [8].

Les granulés d'extinction sont principalement constitués d'oxyde de silicium dont la taille moyenne des grains est comprise entre 0,5 et 5 mm [29]. À une haute température, ils commencent à fondre et forment une couche fermée et thermiquement isolante autour de la source du feu. Ces granulés peuvent être utilisés de manière assez universelle: ils conviennent non seulement comme agents d'extinction pour lutter contre les incendies des batteries lithium, mais aussi à titre préventif comme remplissage pour l'entreposage et le transport [29]. Des boîtes de transport et d'entreposage appropriées, approuvées par l'ONU, sont disponibles en métal et en plastique.



Figure 9. Exemple de granulés d'extinction (Extron Modellbau, s.d.)

⁵ NF EN3-7+A1: Normes nationales et documents normatifs nationaux (normes françaises et européennes). *Extincteurs d'incendie portatifs - Partie 7 : caractéristiques, performances et méthodes d'essai.*

7. Normes et règlements

Au Canada et à l'international, il n'existe pas de pratiques reconnues ou de normes liées à l'entreposage des batteries lithium-ion. En raison, entre autres, du grand nombre de types de batteries différents, il n'est pas possible à l'heure actuelle de faire des déclarations générales sur les mesures et concepts de protection appropriés. Un tel vide normatif/réglementaire fait en sorte que pour les nouvelles entreprises s'établissant dans le secteur des transports électriques et intelligents (TÉI) ou encore celles déjà actives, mais en croissance, l'augmentation du nombre de batteries à entreposer implique un impact direct sur la probabilité d'occurrence et les conséquences d'un incendie, et donc sur l'importance du risque auquel elles font face.

Toutefois, au Canada, l'expédition et l'importation de BLI sont régies par la Loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses (TMD). Les BLI portent les numéros et identifiants de marchandises dangereuses ONU suivants [2] :

- ONU 3480 : Piles au lithium ionique
- ONU 3481 : Piles au lithium ionique contenues dans un équipement ou Piles au lithium ionique emballées avec un équipement.



Figure 10. Exemple de marquage de marchandises dangereuses (Touchette et coll., 2021)

En ce qui concerne les contenants à utiliser pour le transport terrestre et maritime, le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* de Transports Canada [16] renvoie aux instructions d'emballage suivantes des recommandations de l'ONU :

- Instructions d'emballage P801;
- Instructions d'emballage P910 pour les prototypes et les petits lots de batteries;
- Instructions d'emballage P909 ou LP904 pour le transport de batteries à recycler ou à éliminer;
- Instructions d'emballage P908 ou LP904 pour les batteries endommagées.

De façon générale, l'expédition de BLI par avion est soumise à des exigences beaucoup plus strictes et elle est même interdite pour les prototypes, les batteries défectueuses et les batteries endommagées, ainsi que pour les batteries marquées pour l'élimination ou le recyclage [17]. D'autres restrictions s'appliquent dans le cas des vols de passagers où les batteries sont soumises à des limites de taille et elles ne peuvent pas être placées dans les bagages enregistrés [17]. L'Association du transport aérien international (IATA) publie le document *Réglementation pour le transport des marchandises dangereuses* [18] qui contient des normes relatives au transport des marchandises dangereuses par voie aérienne. Ce document est fondé sur les *Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses* de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) [19]. Les politiques de Transports Canada en matière de marchandises dangereuses s'alignent sur les règlements de l'IATA et chaque compagnie de transport a ses propres processus de conformité. L'expédition de batteries par voie maritime est généralement la méthode privilégiée pour les produits acquis à l'extérieur du Canada et des États-Unis, puisqu'elle est moins restrictive et moins coûteuse que l'avion [17]. Cette méthode est réglementée par le *Code maritime international des marchandises dangereuses* (IMDG) de l'Organisation maritime internationale (OMI) [17].

Visites industrielles

Des visites industrielles ont été réalisées afin de comparer les mesures recensées dans la littérature avec celles en vigueur dans des entreprises situées au Québec qui entreposent des batteries Lithium. Ces visites ont été planifiées en collaboration avec Propulsion Québec. Une équipe du Centre RISC, constituée d'un chercheur, d'un conseiller à l'innovation et d'un professionnel en sécurité incendie ont réalisé trois visites respectivement pour Blue Solution, BIXI Montréal et Ugowork. Ces visites se sont déroulées en deux parties. La première partie était consacrée à une rencontre avec les représentants des entreprises pour qu'elles répondent à un questionnaire préparé par l'équipe du Centre (voir annexe 2). Ensuite, la deuxième partie consistait à faire la visite des zones d'entreposage et d'assemblage des batteries pour chaque entreprise. Ces visites ont été accueillies très favorablement par les entreprises concernées et ont permis d'obtenir des informations détaillées sur les aspects techniques et les différents défis de l'entreposage des BLI. Le résumé de chaque visite est présenté ci-dessous.

Visite des installations de *Blue Solution*

Blue Solutions, une société du Groupe Bolloré, produit depuis plus de 30 ans des batteries destinées à des véhicules lourds électriques. Blue Solutions représente plus de 300 chercheurs, ingénieurs et techniciens qui produisent des batteries de haute technologie sur deux sites de production situés en Bretagne et au Canada. L'usine de Boucherville produit des batteries de véhicules électriques utilisées partout dans le monde.

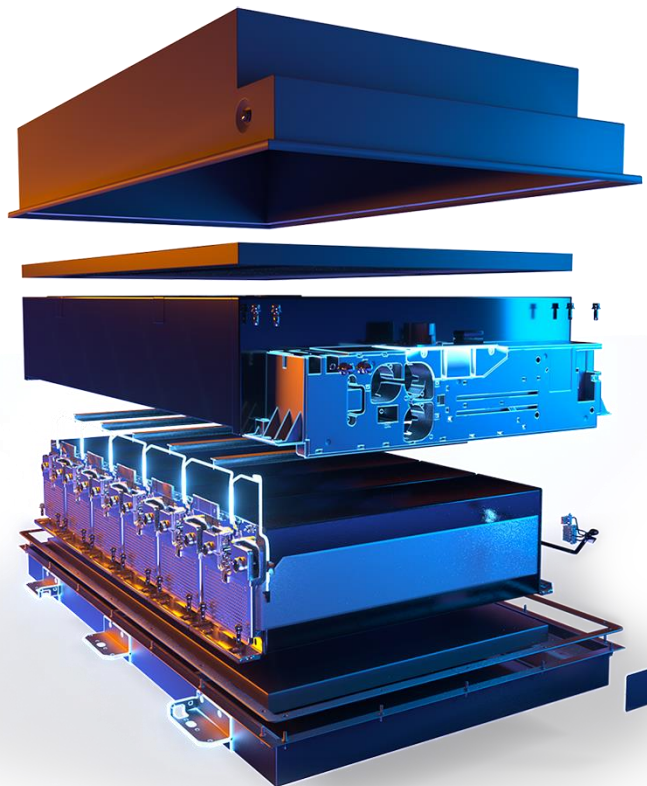


Figure 11. Exemple de batterie chez Blue Solution (Blue Solution, 2022)

Blue Solutions fabrique non pas des BLI, mais plutôt des batteries dites « à l'état solide » qui sont de type lithium métal polymère (LMP) dont l'électrolyte qui assure la circulation des ions est fait de matière solide, au lieu d'être sous forme liquide ou de gel. Ce type de batterie est très résistante aux températures externes, que ce soit très froid ou très chaud. Chaque *pack* de batteries fini contient plusieurs modules de batteries regroupés dans une boîte d'aluminium de 3 mm d'épaisseur et pèse plus que 300 kg. Pour les faire livrer, les *packs* sont emballés dans du carton et entreposés sur des étagères en bois. L'emballage des *packs* est choisi pour respecter les normes de Transport Canada et du transport maritime. En plus des batteries, l'entreprise entrepose plusieurs produits chimiques utilisés pour les projets de recherche et développement (R et D). Ces produits sont entreposés dans des espaces clos et isolés par des murs coupe-feu. L'accès à ces produits est restreint par carte et par profil d'employé.

En raison de l'absence d'une norme, la compagnie a créé son propre système d'entreposage. Afin d'optimiser l'espace, l'entrepôt de Boucherville est séparé en zones : zone de production, zone de test et zone d'entreposage. Ces zones sont surveillées par un système d'alarme incendie intelligent connecté à un site occupé en permanence. Elles sont protégées par des systèmes d'extinction automatique. Les batteries défectueuses sont immédiatement retirées des zones d'entreposage et de production et elles sont entreposées dans un conteneur à l'extérieur du local jusqu'à leur élimination. Dans l'entrepôt, les batteries sont entreposées sur les palettes en bois sur deux couches au maximum avec le bord supérieur des marchandises se situant à 2 m maximum du sol.

L'entreprise a recruté une firme privée qui offre des solutions de sécurité incendie avec des inspections annuelles de leur site. De plus, elle offre pour ses employé.es des formations obligatoires sur la sensibilisation aux risques d'incendie et l'entreposage des matières dangereuses. L'entrepôt reçoit des visites annuelles de leur assureur et du service de sécurité incendie (SSI). Malgré tous ces efforts, plusieurs incendies ont été déclarés par cette entreprise. Récemment, le 8 novembre 2021, la mauvaise manipulation d'un conteneur réfrigéré a entraîné une importante explosion suivie d'un incendie. Le sinistre a causé pour 1 M\$ de dommages aux installations (remplacement d'un congélateur et arrêt de production). Deux bâtiments ont été endommagés par la déflagration puisque la force a fait éclater les vitres et a projeté des débris dans un large rayon autour du site.

D'après le directeur de la *Sûreté de fonctionnement* de Blue Solution, il est important de mettre en place une norme d'entreposage des batteries lithium. Une telle norme apporte de nombreux avantages, dont :

- la protection de la vie, des biens et de l'environnement;
- la diminution des interventions des pompiers ou des conséquences de celles-ci;
- l'élimination des risques de fermeture temporaire ou prolongée des entrepôts à la suite d'un sinistre;
- l'élimination ou la diminution de tout autre dommage collatéral qu'occasionne un sinistre (assurances, etc.).

Cependant, cette initiative comporte deux défis principaux. En effet, une telle norme devrait être établie à une échelle internationale, sinon plusieurs entreprises québécoises et canadiennes pourraient déménager à l'étranger pour éviter les coûts associés à la mise en place et le respect d'une norme (p. ex., dimension des locaux, matériaux, employés, gestion d'inventaire, etc.). Le deuxième défi est qu'une telle norme devrait prendre en considération la puissance et la nature des batteries lithium entreposées (ion, métal, polymère).

Visite des installations de BIXI Montréal

BIXI Montréal est un organisme à but non lucratif créé en 2014, par la Ville de Montréal, pour gérer le système de vélopartage. En 2019, les BIXI électriques ont fait leur apparition dans les rues de la ville. Depuis leur apparition, la location de vélos électriques est 60 % plus fréquente que celle de vélos réguliers. Le réseau comprend maintenant plus de 2000 vélos électriques sur le territoire du Grand Montréal.

En hiver, les vélos électriques du BIXI sont retirés du réseau et entreposés dans un site situé dans le quartier Rosemont. Avant d'entreposer les vélos, les BLI sont débranchées et rangées dans une chambre isolée du reste de l'entrepôt (hibernation). Durant notre visite en janvier 2022, BIXI entreposait 2500 BLI de puissance moyenne (496 Wh, 2,71 kg).

L'entreprise utilise les recommandations du fournisseur pour entreposer les BLI. Le local d'entreposage est muni d'un mur coupe-feu, d'un détecteur de fumée classique, d'une caméra de sécurité et d'un gicleur d'incendie. Selon la disponibilité, des BLI sont regroupées par 5 et déposées dans une valise certifiée pour offrir une protection maximale contre les éléments extérieurs, tels que la poussière, l'eau, les chocs et les manipulations répétées. Notons que le même local est dédié à la recharge et l'entreposage des BLI. Toutefois, les BLI endommagées sont traitées à part et entreposées dans une boîte anti-feu à l'extérieur du bâtiment.

Aucun incident n'a été déploré depuis que BIXI a commencé à entreposer des BLI en 2019. L'entreprise reçoit des visites annuelles de leur assureur et du Service de sécurité incendie de la Ville de Montréal. Toutefois, les recommandations formulées à la suite de ces visites sont plutôt générales et non associées à l'entreposage des BLI.

Le directeur en *Approvisionnement et logistique* du BIXI a lancé l'idée d'élaborer une norme d'entreposage des BLI. Dans une telle situation, les intervenants (pompiers, assureurs, etc.) peuvent se référer à un cadre normatif commun, ce qui est de nature à simplifier et guider leurs interventions. Les autorités réglementaires peuvent ensuite développer des instruments communs (ex. : grilles d'inspection, indicateur de degré de sécurité d'entrepôt, etc.) pour faciliter la surveillance de l'application de leur réglementation. Toutefois, il croit que l'application d'une telle norme dépendra de plusieurs variables, dont la taille de l'entreprise et de son chiffre d'affaires. Donc, il faut penser à aider les entreprises à s'adapter à une telle norme.

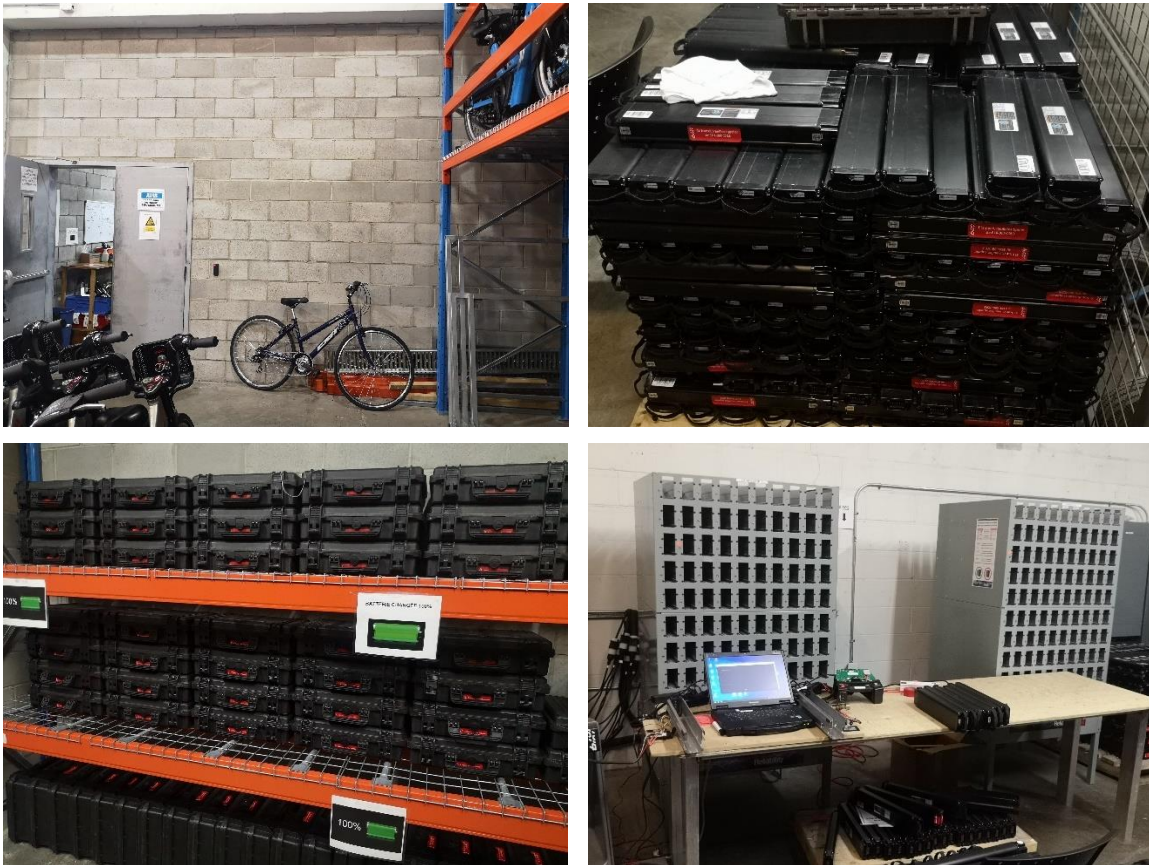


Figure 12. Quelques photographies prises lors de la visite industrielle chez BIXI Montréal, en janvier 2022

Visite des installations de UgoWork

UgoWork conçoit et fabrique des solutions innovantes au lithium-ion, tout en offrant un savoir-faire énergétique éprouvé pour libérer le potentiel du système énergie-service dans l'industrie de la manutention. L'entreprise a déployé un modèle de consommation rentable et adaptatif qui assure la tranquillité d'esprit grâce au fonctionnement en continu des chariots élévateurs. En s'appuyant sur l'infonuagique pour sa stratégie d'optimisation des parcs de chariots élévateurs, des paiements à l'usage, de service en continu sur le terrain, de garantie de fonctionnement et de gestion du cycle de vie complet des batteries, UgoWork permet aux gestionnaires d'effectuer leur transition énergétique de manière fluide. Les produits et les solutions énergétiques UgoWork sont conçus pour les chariots élévateurs dans des industries telles que l'alimentation, la fabrication, le transport et la distribution.

Basée à Québec depuis sa création en 2015, l'entreprise a aujourd'hui une capacité de production annuelle de 1000 batteries et offre des programmes de gestion énergétique avancés, rentables et éprouvés à des entreprises de partout en Amérique du Nord.

UgoWork produit des BLI de 24, 36, et 48 volts. Chaque *pack* de batteries comprend plusieurs modules de batteries assemblés sur le même site d'entreposage. Le local d'entreposage est muni d'un détecteur de fumée classique et d'un gicleur d'incendie. L'entrepôt reçoit des visites annuelles du Service de sécurité incendie (SSI) de la Ville de Québec. Aucun incident n'a été déploré depuis que UgoWork a commencé à entreposer des BLI en 2015.

Le directeur de production chez UgoWork nous a présenté les conséquences positives et négatives d'une norme d'entreposage des BLI et les problèmes qui peuvent être rencontrés par les entreprises à l'égard de la mise en pratique d'une telle norme.



Figure 13. Exemple de batterie chez UgoWork (UgoWork, 2022)

Conclusion

Les batteries au lithium ionique sont un moyen pratique, efficace et sûr d'emmagasiner de l'énergie dans nombre d'applications. Leur utilisation s'est considérablement accrue ces dernières années et devrait continuer à croître dans un proche avenir.

Comme pour les autres sources d'énergie, telles que les carburants et les gaz combustibles, il est essentiel de bien connaître les risques liés aux batteries au lithium ionique et les situations dans lesquelles ils surviennent pour pouvoir les utiliser, les transporter, les entreposer et les éliminer en toute sécurité. En outre, la connaissance des risques et des procédures d'urgence, ainsi que la mise en œuvre de mesures de prévention permettent d'atténuer les conséquences des événements indésirables lorsqu'ils se produisent.

En s'appuyant sur la recension des écrits, l'entreposage des BLI doit se faire dans des zones ou des locaux ventilés possédant des sols imperméables ou dans des conteneurs étanches pour prévenir la pollution du sol et être à l'abri de l'humidité, de sources de chaleur et des variations de température. Les locaux d'entreposage doivent être délimités ou balisés et signalés de manière claire. Une indication explicite de la présence de ces BLI doit être reportée sur les plans à destination des équipes d'intervention (pompiers). Ces locaux seront organisés de manière à faciliter la manutention des batteries en toute sécurité. D'autres mesures plus précises s'ajoutent selon la capacité et la quantité des batteries entreposées.

À la suite de nos visites industrielles, l'équipe a conclu que dans l'ensemble, il est important de mettre en place une norme d'entreposage des BLI. Une telle norme apporte de nombreux avantages pour les entreprises. Cependant, elle devrait être établie à une échelle internationale et prendre en considération la puissance et la nature des BLI entreposées. De plus, il faudrait prévoir des ressources pour les entreprises afin de les aider à mettre en application cette norme.

Annexe 1 : Recension des principaux accidents

Tableau 1 : Liste des principaux accidents survenus à la fabrication et/ou à l'entreposage des batteries lithium-ion [26]		
Évènement	Pays	Description de l'accident
Site de production de piles et batteries Poitiers, mai 2008	France	Deux incidents se produisent à 10 jours d'intervalle sur le même site de production de piles et de batteries au lithium. Le local est équipé d'un système d'extinction automatique qui se déclenche, alors que les pompiers sont alertés. Le feu est éteint, l'intervention dure 4 heures en tout. Il n'y a pas de blessé. Le feu ne s'est pas propagé au-delà du chariot et de son chargement. Les eaux d'incendie sont confinées sur le site.
Site de production de piles et batteries Bourges, septembre 2008	France	L'incendie est éteint par les sapeurs-pompiers avec des extincteurs à poudre. Ils parachèvent leur intervention en immergeant la batterie en cause dans l'eau. Un employé est légèrement intoxiqué par les fumées et hospitalisé.
Incendie dans une usine de production Bordeaux, janvier 2000	France	Chez un fabricant de batteries électriques rechargeables, un feu se déclare dans une cellule d'essai de charge et de décharge de batterie (cyclage). La cause du début d'incendie est attribuée à un court-circuit électrique dans une batterie en essai (batterie au lithium). Le local était équipé de détection incendie (sondes de température et détection gaz). Le local a subi des dégâts matériels significatifs.
Incendie de l'atelier de la SECMA Aniche, avril 2009	France	Un incendie ravage l'atelier hangar de fabrication de quadricycles et autres petites automobiles, situé à Aniche. L'incendie est d'origine accidentelle et attribué à une charge de batterie au lithium-ion équipant un véhicule. L'état de certains débris permet d'affirmer que la température a dépassé localement 1200°C.
Incident à l'usine Batscap Ergué-Gabéric, février 2010	France	Un incendie se déclare dans cette usine du groupe Bolloré dédiée à la fabrication de batteries au lithium métal polymère. Les quatre ouvriers légèrement incommodés par les fumées ont été placés en observation à l'hôpital de Quimper.
Incident chez BMZ GmbH Karlstein am Main, août 2008	Allemagne	Cet incident est survenu dans une halle d'assemblage de batteries (dont des batteries au lithium-ion) d'une PME florissante allemande dénommée BMZvGmbH (pour Batterie-Montage-Zentrum). Une halle de montage de batterie et la halle d'entreposage adjacente sont détruites, provoquant des dégâts matériels se chiffrant en dizaines de millions d'Euros. L'incident a fait l'objet d'un article dans la revue Brandschutz relatant des projections (effets missiles) de débris jusqu'à 300 m des locaux sinistrés.
Incident chez Yardney Technical Products Stonington (Connecticut), 2008	États-Unis	Un incendie se déclenche dans les bâtiments d'exploitation de la société Yardney Technical Products, spécialisée dans la fabrication de batteries à haute performance (dont des applications spatiales). Une fuite d'électrolyte de l'une de ces

		batteries serait à l'origine du départ de feu. Le feu, bien que combattu par le système de <i>sprinklers</i> existant sur le site, a émis d'épaisses fumées et notamment de l'acide fluorhydrique. Cette dernière menace pour les populations environnantes a conduit les autorités à faire évacuer les habitants du proche périmètre (4 rues) ainsi que les effectifs de trois établissements scolaires (soit environ 700 personnes) par mesure de précaution.
Incidents répétés chez Electrochem Raynham, 2007-2009	États-Unis	La société est spécialisée dans la fabrication de batteries au lithium pour des marchés de niche (applications industrielles, applications militaires, etc.). Le dernier incident en date du 13 août 2009 implique l'explosion d'une batterie au lithium en cours d'assemblage par deux employés dans un local confiné. Cet incident a conduit 6 ouvriers à l'hôpital. Il est rapporté qu'il s'agit de la deuxième situation ayant requis l'intervention des services d'urgence en 3 jours.
Incendie chez Matsushita Battery Industrial's Osaka, septembre 2007	Japon	La compagnie est un producteur majeur de batteries rechargeables au lithium-ion pour le marché des applications portables. Au moment même des grands rappels de batteries au lithium défectueuses (pour ordinateurs portables), l'usine de production de MBI subit un grave incendie. Le site est réputé fournir à l'époque 14 % du marché mondial de batteries pour ordinateurs portables. Le risque de rupture de chaîne d'approvisionnement est jugé réel. Les dommages matériels dans l'usine sont chiffrés à 18 millions de dollars.
Incendie chez LG Chem Corée du Sud, mars 2008	Corée du Sud	C'est le second plus grand producteur de batteries au lithium ion du pays (poids = 10 % du marché à l'époque). Un sinistre similaire à celui de Matsushita en termes de conséquences économiques s'est également produit en Corée, chez LG Chem, dans son usine d'Ochang produisant des batteries au lithium-ion. Le sinistre dont on connaît peu de détails techniques aurait provoqué un arrêt total de production de 2 à 3 mois.

Annexe 2 : Questionnaire des visites industrielles

Nature des produits entreposés :

- Quels sont les produits stockés (puissance, nature, etc.) et combien d'unités circulent dans l'entrepôt ?
- Existent-ils d'autres produits avec les batteries dans la zone de stockage ?
- Si oui, de quelles natures sont-elles ?
- Y'a-t-il des produits endommagés stockés avec les produits ?
- Comment les batteries sont-elles emballées, et avec quelle matière ?
- Pourquoi avez-vous choisi cet emballage ?
- Est-ce qu'il y'a un espace dans l'entrepôt pour les batteries usées et un autre pour celles à recycler ?
- Est-ce qu'il y a des produits chimiques ou inflammables aux alentours des produits de batteries stockées ?

Modes d'entreposage adoptés :

- Quel système de stockage avez-vous adopté ?
- Quel espacement est-il conservé entre les racks ?
- Quelle norme avez-vous adoptée pour l'entreposage des batteries ?
- Est-ce que les palettes sont en bon état ?
- Est-ce que les produits sont stockés de façon correcte (pas d'inclinaisons, empilage...)
- Quels sont les engins de manutention utilisés ? Et, pourquoi ce choix d'équipements ?

Historique d'entreposage :

- Depuis combien de temps stockez-vous les batteries Li-Ion ?
- Était-il toujours le même type de batteries ?
- Y a-t-il déjà eu des incidents dans vos zones d'entreposage ?
- Si oui, quelle était la nature de l'incendie ?
- Quelles sont les causes que vous avez pu identifier lors de vos inspections ?
- Où et quand est-ce arrivé ?
- Y a-t-il eu des décès ou des blessés ?
- Y a-t-il eu des dégâts matériels ?
- Quelles mesures de correction ont été prises ?

État général de l'entrepôt :

- La zone d'entreposage des batteries est-elle séparée des autres zones ?
- Y a-t-il une zone de recharge des batteries séparée de la zone de stockage ?
- Comment ou par quoi est-elle séparée ?
- Y a-t-il un mur coupe-feu ?
- Est-ce que l'entrepôt est bien éclairé ?
- Est-ce que l'entrepôt est bien aéré et ventilé ?
- Quelle température maintenez-vous dans l'entrepôt ?

- Utilisez-vous des systèmes de contrôle des conditions de stockage (température, humidité) ?
- Les aires de passages sont-elles libérées des déchets ?

Sécurité :

- Qui est autorisé à entrer dans les entrepôts ?
- Comment les accès sont-ils contrôlés ?
- Est-ce que les alentours des sorties de secours, des équipements d'incendie et des gicleurs sont bien dégagés à un périmètre de 1 m ?
- Existe-t-il un plan de sécurité et d'ergonomie dans l'entreprise, si oui, est-il bien documenté et accessible aux travailleurs ?
- Y a-t-il des programmes de formation offerts aux travailleurs, sur les bonnes pratiques en entrepôt, et le stockage de ce genre de produits ?
- Y a-t-il des mesures de rétention des eaux d'extinction (eau polluée par des produits chimiques) ?
- Existe-t-il des ventilateurs ou un système de canalisation pour surpression des gaz ?
- Y a-t-il une surveillance par caméras dans l'entrepôt ?
- Quelles mesures préventives ont été adoptées par l'entreprise ?
- Y a-t-il des inspections de l'entrepôt ?
- Si oui, est-ce interne, externe ou les deux? Et sur quelle période ?
- Pour les inspections externes, sont-elles effectuées par des sociétés agréées par les organismes de contrôle accrédités tels que le gouvernement ?

Références

- [1] Transport Canada. (2019). *Envoi et importation de dispositifs contenant des piles au lithium*. <https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/envoi-importation-dispositifs-contenant-piles-lithium>
- [2] Nations Unies. (2011). *Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses* (17^e édition, vol. 1). https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/French/Rev17_Volume1.pdf
- [3] Wang, Q., Mao, B., Stolarov, S. I., & Sun, J. (2019). A review of lithium-ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. *Progress in Energy and Combustion Science*, 73, 95-131.
- [4] Lisbona, D., & Snee, T. (2011). A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries. *Process safety and environmental protection*, 89(6), 434-442.
- [5] Wang, Q., Ping, P., Zhao, X., Chu, G., Sun, J., & Chen, C. (2012). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium-ion battery. *Journal of power sources*, 208, 210-224.
- [6] Liu, B., Jia, Y., Yuan, C., Wang, L., Gao, X., Yin, S., & Xu, J. (2020). Safety issues and mechanisms of lithium-ion battery cell upon mechanical abusive loading: A review. *Energy Storage Materials*, 24, 85-112.
- [7] Gouvernement du Québec. (2021). *Loi sur la santé et la sécurité de travail*. <http://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/s-2.1>
- [8] Zhang, Sheng Shui (2006). A review on electrolyte additives for lithium-ion batteries." *Journal of Power Sources* 162.2 : 1379-1394.
- [9] Parlons science. (2019). *Comment fonctionne une batterie lithium-ion ?* <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion>
- [10] WATTALPS. (2020). *Propagation d'emballage thermique et prévention*. <https://www.wattalps.com/propagation-demballage-thermique-et-prevention/?lang=fr>
- [11] Levitt-Safety. (2021). [Webinaire] Prévenir les incendies de batteries lithium-ion dans les systèmes de stockage d'énergie. *Levittsécurité*. <https://www.levitt-safety.com/fr/blog/li-ion-tamer-prevent-battery-fires/>
- [12] Association des établissements cantonaux d'assurance incendie. (2021). *Guide de protection incendie: Batteries lithium-ion*. <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-3690.pdf/content>
- [13] VdS. (2019). *Lithium Batteries*. <https://shop.vds.de/download/vds-3103en/bf078a1a-eb02-41b2-a6cf-7f69fd4dcbf7>
- [14] Higashimoto, Koji, et al. (2011) Automotive lithium-ion batteries. *Hitachi Rev* 60.1 (2011): 17-21. https://www.hitachi.com/rev/pdf/2011/r2011_01_103.pdf/
- [15] Luo, Wei-tao, et al. (2018) Research and development of fire extinguishing technology for power lithium batteries." *Procedia engineering* 211 (2018): 531-537. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817362689>
- [16] Gouvernement du Canada. (2022). *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*. <https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2001-286.pdf>
- [17] Touchette, S., Recoskie, S., Torlone, G. & MacNeil, D. (2021). La sécurité des batteries au lithium ionique Utilisation, stockage et élimination. *Conseil national de recherches Canada*. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=4a279238-35a8-4d71-bae0-0f783ed9f849>
- [18] Association du transport aérien international. (2021). *Réglementation pour le transport des marchandises dangereuses de l'IATA* (62^e édition). <https://www.iata.org/contentassets/b08040a138dc4442a4f066e6fb99fe2a/dgr62-addendum1-fr.pdf>
- [19] Organisation de l'aviation civile internationale. (2018). *Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses* (édition 2017-2018). <https://www.icao.int/safety/DangerousGoods/AddendumCorrigendum%20to%20the%20Technical%20Instructions/Doc.9284.2017.2018.Add.Corr.1.fulltext.fr.pdf>
- [20] Hazard Control Technologies. (s.d.). *F-500 Encapsulator agent (EA)*. <https://hct-world.com/products/chemical-agents/f-500-encapsulator-agent/>
- [21] Stat-X. (2022). *Stat-X: Aerosol Fire Suppression*. <https://www.statx.com/>
- [22] RSLFire. (2022). *Aerosol Extinguishing Systems & Fire Extinguishers*. <https://rslfire.nl/en/fire-suppression-systems/>
- [23] Extron Modellbau. (s.d.). *Extron Modellbau*. https://extron.pichler.de/LiPo-Extron-X2_1
- [24] Blue Solution. (2022). *Technologie de batteries*. <https://www.blue-solutions.com/technologie-de-batteries/>
- [25] UgoWork. (2022). *UgoWork*. <https://ugowork.com/fr/>

- [26] Étude BARPI : Accidentologie liée à la fabrication, à l'utilisation au stockage et au recyclage de batteries et piles au Lithium.
- [27] DENIOS. (s.d.). *Stockage sécurisé des batteries Lithium-Ion*. <https://www.denios.fr/notre-entreprise/notre-expertise/stockage-securise-des-batteries-lithium-ion>
- [28] Ghiji, M., Novozhilov, V., Moinuddin, K., Joseph, P., Burch, I., Suendermann, B., & Gamble, G. (2020). A review of lithium-ion battery fire suppression. *Energies*, 13(19), 5117.
- [29] Yuan, Shuai, et al. (202) A review of fire-extinguishing agent on suppressing lithium-ion batteries fire. *Journal of Energy Chemistry* 62: 262-280.