

TABLE PROVINCIALE SUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

RAPPORT D'ACTIVITÉS

Août 2024



Rapport final réalisé pour :
Le ministère de la Sécurité publique



Recherche et rédaction:
Karine St-Denis PhD
École nationale des pompiers du Québec

École nationale des pompiers du Québec
2800, boul. Saint-Martin Ouest, bureau 3.08
Laval (Québec) H7T 2S9
Téléphone : 450 680-6800
Sans frais : 1 866 680-3677

ISBN : 978-2-550-98538-9
Deuxième version
© École nationale des pompiers du Québec, 2024

Wikipedia commons, pour la photographie de couverture
[File:A stock Toyota Prius burning out.png - Wikimedia Commons](#)

ÉCOLE NATIONALE DES POMPIERS DU QUÉBEC

Instituée en vertu de l'article 49 de la Loi sur la sécurité incendie (LRQ, chapitre S-3.4), L'École est une personne morale, mandataire du gouvernement du Québec, sanctionnée le 16 septembre 2000 en vertu de la Loi sur la sécurité incendie.

Mission

L'École a pour mission de veiller à la pertinence, à la qualité et à la cohérence de la formation professionnelle qualifiante des pompiers et des autres membres du personnel municipal travaillant en sécurité incendie.

Valeurs

- La rigueur;
- La disponibilité;
- Le professionnalisme.

SYNTHÈSE DES TRAVAUX DE LA TABLE PROVINCIALE SUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

1. Devant la montée des incendies impliquant des véhicules électriques avec batterie aux ions de lithium et les questionnements opérationnels sur l'extinction et la prévention de ces incendies, une Table provinciale sur les véhicules électriques a été mise en œuvre le 15 mai 2023.
2. Le mandat de cette Table est de :
 - Recueillir les informations pertinentes entourant l'utilisation de l'électricité pour les véhicules et autres équipements, les principes d'accumulation de l'énergie, les risques de défaillance et d'incendie, les risques chimiques et les risques d'électrocution.
3. La Table provinciale sur les véhicules électriques s'inscrit directement dans l'objectif 1.5 du Plan stratégique 2022-2027 du ministère de la Sécurité publique MSP soit : « Favoriser l'innovation en matière de sécurité publique par la recherche, le transfert des connaissances et le recours aux nouvelles technologies » (MSP, 2023 :22).
4. La Table provinciale sur les véhicules électriques s'inscrit directement dans les mandats de recherche de l'École nationale des pompiers du Québec énoncés dans l'article 57 de la loi sur la sécurité incendie du Québec soit : « Elle effectue ou fait effectuer des recherches et des études dans des domaines touchant le travail du personnel municipal en sécurité incendie et pouvant avoir une incidence sur leur formation ; elle en publie et en diffuse les résultats, en particulier auprès du milieu de la sécurité incendie » (L.R.Q, S-3.04, art 57).
5. L'École nationale des pompiers du Québec a réuni les principaux partenaires de la sécurité incendie afin de participer aux divers recensements sur les connaissances générales de l'énergie électrique, sur la fabrication des piles d'accumulation et sur les événements rapportés au Québec, au Canada, aux États-Unis et ailleurs.
6. La table a tenu 6 rencontres.
7. Au nombre des travaux réalisés par la Table :
 - Une recension de publications scientifiques sur les véhicules électriques et les batteries aux ions de lithium;
 - Une recension des outils de prévention des incendies de véhicules électriques et des batteries aux ions de lithium;
 - Une recension des principales pratiques et outils d'intervention lors d'incendie de véhicules électriques et de batteries aux ions de lithium;
 - Des recommandations pour améliorer les pratiques en matière de prévention et d'intervention des incendies de véhicules électriques et de batteries aux ions de lithium.

RECOMMANDATIONS

1. Afin de réduire les risques d'incendie impliquant des véhicules électriques et des batteries aux ions de lithium, diffusez des informations préventives sur les risques liés à leur recharge, leur entreposage, leur réparation et leur disposition en fin de vie.
2. Afin d'assurer la sécurité des pompiers, diffusez des formations en matière d'intervention incendie et d'accidents routiers impliquant des véhicules électriques, incluant les meilleures pratiques d'extinction et de désincarcération.
3. Afin d'assurer l'adaptabilité nécessaire en contexte d'innovation technologique, assurer la veille et la diffusion de recherches scientifiques sur les batteries aux ions de lithium, les pratiques de combat incendie et le comportement du feu lors d'incendies impliquant ces batteries.
4. Afin d'assurer une évaluation longitudinale des actions entreprises, développer et diffuser des statistiques sur les incendies de véhicules électriques et de batteries aux ions de lithium et les inclure dans les données compilées annuellement et diffusées par le ministère de la Sécurité publique MSP.

ACRONYMES UTILISÉS

AGSICQ	Association des gestionnaires en sécurité incendie et civile du Québec
CRNC	Conseil national de recherche du Canada
ENPQ	École nationale des pompiers du Québec
FDNY	Fire Department of New York
FSRI	Fire Safety Research Institute
IFTSA	International Fire Service Training Association
MSP	Ministère de la Sécurité publique
NFPA	National Fire Protection Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NHTSA	National highway Traffic Safety Administration
NTSB	National transportation Safety Board
SIM	Service de sécurité incendie de Montréal
SSI	Service de sécurité incendie
UL	Underwriters Laboratories
VE	Véhicule électrique

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	12
Contexte	14
Les véhicules électriques et leur prévalence au Québec	16
Les comportements du feu impliquant des batteries aux ions de lithium.....	17
Les risques liés aux batteries aux ions de lithium	17
L’emballage thermique rapide et les risques d’explosions des gaz.....	20
Des températures élevées avec ou sans flammes	22
Un risque de ré-ignition plusieurs jours après le premier emballage thermique	24
La Table provinciale sur les véhicules électriques.....	26
Mandat	26
Membres	26
Rencontres tenues.....	27
Les observations de la Table sur les véhicules électriques	29
Prévenir les incendies liés aux batteries aux ions de lithium	29
La prévention des incendies de batteries aux ions de lithium par les membres de la Table	30
Les représentations médiatiques et publiques des organisations membres de la Table	31
Former les pompiers à combattre les incendies de batteries aux ions de lithium	32
L’eau : un agent de refroidissement efficace et à la portée des pompiers.....	33
Les extincteurs chimiques de type D (NaCl) et en les extincteurs en poudre de type ABC..	35
Les couvertures anti-feu pour véhicules électriques	37
Les lances perforatrices.....	38
Les caissons de sécurisation des véhicules électriques.....	38
Le brûlage sécurisé pour décharger la batterie au maximum.....	39
Assurer une veille et diffuser des savoirs scientifiques pour accroître l’adaptabilité.....	41
Évaluer les retombées des actions par des statistiques longitudinales sur l’ensemble du territoire québécois.....	41
Conclusion	43
Recommandations.....	44

Bibliographie.....	45
Références gouvernementales.....	45
Références scientifiques.....	46
Sites web, audios et vidéos	48

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Un assemblage de cellules d'une batterie aux ions de lithium de véhicule électrique .	15
Figure 2. Nombre de véhicules électriques au Québec selon l'AVEQ.....	16
Figure 3. Logos de transport obligatoires des batteries aux ions de lithium	17
Figure 4. Vidéo EV FireSafe. Emballage thermique et feux de véhicules électriques	20
Figure 5. La concentration des gaz (a) au premier dégazage et (b) à la combustion suivant le dégazage majeur (Goupil 2021: 56).....	21
Figure 6. Images issues (a) d'une caméra infrarouge et (b) d'une caméra rapide pendant un emballage thermique (Goupil, 2021:54).....	21
Figure 7. Température selon les jets de lances (a) du module de batterie (b) au centre du module de batterie (Ji et al.,2022:1238).....	23
Figure 8. Température selon la durée des jets de lances (a) du module de batterie (b) au centre du module de batterie (Ji et al., 2022 :1243).....	24
Figure 9. Vidéo EV FireSafe. Une batterie aux ions de lithium gardera une charge après avoir été immergée dans l'eau.....	25
Figure 10. Quelques exemples de site web sur la prévention des incendies de batteries aux ions de lithium	30
Figure 11. Cahier spécial diffusé par l'AGSICQ lors de la Semaine de prévention des incendies .	31
Figure 12. Incliner le véhicule permet d'orienter le jet de lance sur la batterie.....	34
Figure 13. Des têtes de lance adaptées pour diriger le jet sous le véhicule	34
Figure 14. Températures atteintes sous gicleurs par un véhicule à combustion régulier (ICEV2) et un véhicule à batterie aux ions de lithium (BEV2) (Arvidson et Westlund, 2023 :3401) .	35
Figure 15. Comparaison entre laisser brûler une batterie 12 V et l'éteindre avec un extincteur chimique de type D NaCl (Tang et al. 2023 : 5)	36
Figure 16. Comparaison entre laisser brûler une batterie 24 V et éteindre avec de l'eau (A) et l'éteindre avec un extincteur en poudre (B) (Tang et al. 2023 : 6).....	36
Figure 17. Une couverture anti-feu pour véhicule électrique Bridgehill.....	37
Figure 18. Un caisson d'immersion	39
Figure 19. Caisson de sécurisation des pompiers de Monaco	39
Figure 20. EV FireSave. Lorsque le contexte est sécuritaire, laisser brûler la batterie peut être une option	40

INTRODUCTION

Selon l'Association des véhicules électriques du Québec AVEQ, en date du 17 octobre 2023, il y avait 250 128 véhicules électriques sur les routes du Québec. La *Politique de mobilité durable – 2030* du gouvernement du Québec fixe une cible de 2 millions de véhicules électriques sur nos routes en 2030.

Lorsqu'ils sont alimentés par une source d'électricité renouvelable telle que l'hydro-électricité, les véhicules électriques constituent un mode de transport qui diminue l'émission de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.

Par contre, le transport électrique n'est pas sans risques. Les batteries aux ions de lithium qui alimentent les véhicules électriques peuvent être surchauffées ou endommagées ce qui peut entraîner un emballement thermique et un incendie.

Les comportements des incendies de batteries aux ions de lithium interpellent les pompiers. Leur développement rapide, leur température très élevée, les difficultés d'extinction et leur risque de ré-ignition complexifient les interventions de combat incendie.

Afin de documenter et de diffuser des informations fiables sur les incendies de véhicules électriques, une Table provinciale sur les véhicules électriques a été créée le 15 mai 2023.

Le mandat de cette Table provinciale est :

Recueillir les informations pertinentes entourant l'utilisation de l'électricité pour les véhicules et autres équipements, les principes d'accumulation de l'énergie, les risques de défaillance et d'incendie, les risques chimiques et les risques d'électrocution.

La Table provinciale sur les véhicules électriques s'inscrit directement dans l'objectif 1.5 du Plan stratégique 2022-2027 du ministère de la Sécurité publique MSP soit : « *Favoriser l'innovation en matière de sécurité publique par la recherche, le transfert des connaissances et le recours aux nouvelles technologies* » (MSP, 2023 :22)

Cette Table provinciale sur les véhicules électriques s'inscrit également dans les mandats de recherche de l'École nationale des pompiers du Québec énoncés dans l'article 57 de la loi sur la sécurité incendie du Québec soit : « *Elle effectue ou fait effectuer des recherches et des études dans des domaines touchant le travail du personnel municipal en sécurité incendie et pouvant avoir une incidence sur leur formation ; elle en publie et en diffuse les résultats, en particulier auprès du milieu de la sécurité incendie* » (L.R.Q, S-3.04, art 57).

L'École nationale des pompiers du Québec a réuni les principaux partenaires de la sécurité incendie afin de participer aux divers recensements sur les connaissances générales de l'énergie électrique, sur la fabrication des piles d'accumulation et sur les événements rapportés au Québec, au Canada, aux États-Unis et ailleurs.

Ces partenaires se sont réunis 6 fois et ont pu échanger sur les composantes des batteries aux ions de lithium, leur recyclage et les spécificités du comportement du feu lors d'incendies

impliquant des batteries aux ions de lithium. Des recensions des pratiques préventives et de la littérature scientifique ont aussi été réalisées.

Le présent rapport rend compte des activités de la Table. Nous y retrouvons, premièrement, une mise en contexte présentant la prévalence des véhicules électriques sur le territoire, les risques liés aux batteries aux ions de lithium ainsi que les comportements des incendies impliquant des batteries aux ions de lithium. Par la suite, les activités de la Table sur la prévention et la formation des pompiers en matière d'incendies de véhicules électriques sont présentées. Ce rapport se clôt sur des recommandations afin d'améliorer les pratiques de prévention et d'interventions incendie.

CONTEXTE

Les batteries aux ions de lithium font partie de notre quotidien. Nous les retrouvons sous différentes formes allant de la commune batterie AA aux batteries 12 volt, en passant par les batteries de téléphones portables, d'ordinateurs, de vélos électriques, de triporteurs ainsi que dans les véhicules électriques.

Comme tout mécanisme de conservation d'énergie, les batteries aux ions de lithium sont à risque de s'endommager, d'être mal utilisées et de s'embraser. En ce sens, des mesures de prévention sont de mises lors de leur usage, de leur recharge (CNRC 2021, CNRC 2023) et de leur disposition en fin de vie (Lett et al. 2021, Recyc-Québec 2019).

Bien que connues, les batteries aux ions de lithium se transforment. Elles sont de plus en plus performantes et permettent de stocker l'énergie nécessaire pour propulser des véhicules et ce, du vélo à l'autobus. Lorsque l'énergie initiale est produite par une source d'énergie renouvelable comme l'hydro-électricité, les batteries aux ions de lithium permettent un transport plus écologique.

Les incendies de véhicules électriques sont relativement rares. Le EV FireSafe, un groupe de recherche australien, a recensé que 393 de ces incendies alors que plus de 10 millions de véhicules électriques ont été vendus en 2022 (EV FireSafe, Juin 2023)¹.

De plus, les constructeurs ont prévu plusieurs systèmes de sécurisation qui permettent de neutraliser le système à haute tension lors de collisions, de déploiement de coussins gonflables, de dommages aux câbles et de courts-circuits (NFPA, 2014a : 50).

Par contre, les véhicules électriques à batterie aux ions de lithium ne sont pas sans risques. Les incendies de véhicules électriques à batteries aux ions de lithium interpellent les pompiers. L'embrassement des batteries est rapide (CNRC 2021 : 39, Goupil 2021, Ji et al. 2022, Li et al. 2022, NTSB 2020 : 55-56) et une ré-ignition est possible après la première extinction (CNRC, 2021 : 36, NHTSA, 2021 : 23, NFPA, 2014a : 109, NFPA 2014b : 18, NTSB, 2020 : 58). Il y a donc des risques pour la vie et pour la sécurité des citoyens et des pompiers ainsi que pour les biens et l'environnement.

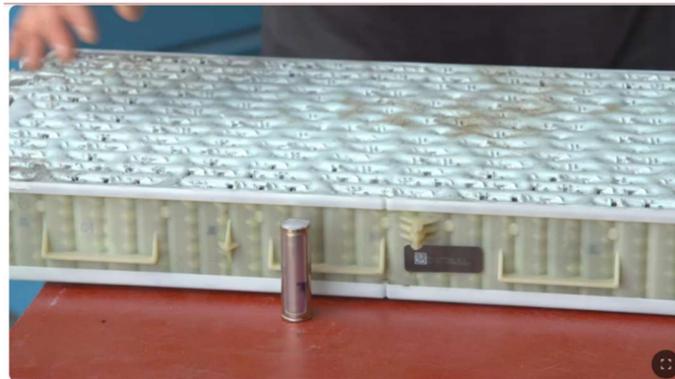
De plus, il est difficile d'atteindre l'origine de l'incendie soit les cellules de batteries (piles) puisqu'elles sont à l'intérieur d'un boîtier étanche (NFPA, 2014a : 110, NFPA, 2014b : 17 et 18). Il faudra donc prévoir une grande quantité d'eau et un temps d'intervention plus long pour parvenir à refroidir le boîtier puis les cellules de la batterie (NFPA 2014a: 108). La chaleur est également très intense. Gavryliuk et al. (2023) affirme que, lors d'un incendie de véhicule électrique dans un stationnement sous-terrain, une chaleur de 220 °C peut être ressentie à une distance de 10 mètres (35 pieds) du véhicule (Gavryliuk, 2023 : 44).

¹ Les informations sont disponibles via :

https://www.evfiresafe.com/files/ugd/8b9ad1_01aa449ee5074086a55cb42aa7603f40.pdf

En septembre 2023, l'émission Découverte de Radio-Canada a diffusé un reportage intitulé *Des feux de batteries lithium-ion intenses*² réalisé en collaboration avec des chercheurs et le Service de sécurité incendie de Sherbrooke. Ce reportage illustre bien ce qu'est une batterie aux ions de lithium ainsi que les défis rencontrés par les pompiers lors d'incendies impliquant des véhicules électriques à batterie aux ions de lithium.

Figure 1. Un assemblage de cellules d'une batterie aux ions de lithium de véhicule électrique



Source : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2010628/feux-batteries-lithium-ion-incendies-surchauffe>

Notons également que les batteries aux ions de lithium sont une technologie innovante. Les batteries telles que nous les connaissons aujourd'hui sont amenées à s'améliorer tant pour être plus performantes que plus faciles à produire. Des chercheurs et des constructeurs automobiles travaillent actuellement au développement de batteries aux ions de lithium solides. Au Québec, soulignons les travaux des équipes du Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie d'Hydro-Québec (Daigle, 2018, Mauger et al. 2017) et des travaux d'étudiants universitaires tel que le mémoire de Benabed (2023) réalisé à l'Université de Montréal.

Il est donc important pour les pompiers de connaître les risques liés aux véhicules électriques à batteries aux ions de lithium mais également de demeurer à l'affût des connaissances scientifiques et des innovations technologiques sur les batteries aux ions de lithium afin d'adapter leurs stratégies lors d'interventions impliquant ces véhicules.

Cette première section présente le contexte québécois et des connaissances scientifiques sur les comportements du feu impliquant une batterie aux ions de lithium. Elle présente les orientations gouvernementales en matière d'électrification des transports et leurs retombées sur le parc automobile. La présence de plus en plus importante des véhicules électriques sur les routes du Québec nécessite de comprendre comment la batterie aux ions de lithium transforme le comportement du feu et les interventions incendies.

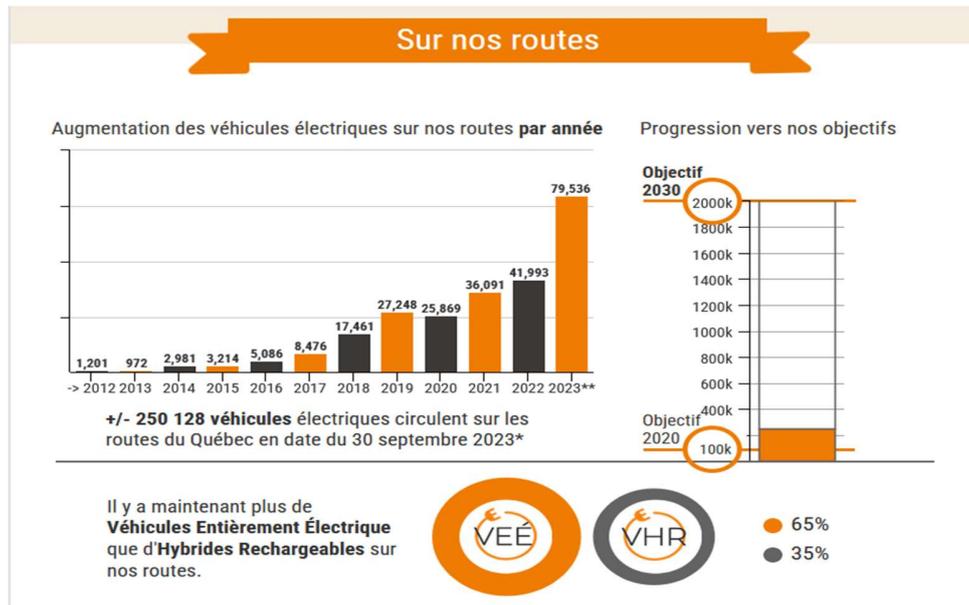
La démonstration s'appuie sur différentes références scientifiques, gouvernementales ainsi que sur des sites web et des vidéos. Ces références sont toutes disponibles en bibliographie et les lecteurs peuvent en prendre connaissance.

² Le reportage peut être visionné via : <https://www.youtube.com/watch?v=Q12xoc-0--8>

Les véhicules électriques et leur prévalence au Québec

Selon l'Association des véhicules électriques du Québec AVEQ, en date du 17 octobre 2023, il y avait 250 128 véhicules électriques sur les routes du Québec ; ce nombre augmente constamment.

Figure 2. Nombre de véhicules électriques au Québec selon l'AVEQ



Source : <https://www.aveq.ca/meacutedias--stats.html>

La *Politique de mobilité durable – 2030* du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports MTMDET du Gouvernement du Québec cible, entre autres, une « Réduction de 40 % de la consommation de pétrole dans le secteur du transport sous le niveau de 2013 » (Gouvernement du Québec, 2018 : 13). L'atteinte de cette cible passe, notamment, par la valorisation des transports en commun et par l'électrification des transports (Gouvernement du Québec, 2018 : 34-36).

Le Gouvernement du Québec a fixé un objectif de **2 millions de véhicules électriques sur les routes en 2030** (Gouvernement du Québec, 2023:16). En ce sens, le *Plan de mise en œuvre 2023-2028 du Plan pour une économie verte*, appuie financièrement, notamment, les stratégies de recharge des véhicules ainsi que l'électrification du camionnage et du transport par autobus. Ces mesures contribuent à l'augmentation des véhicules électriques sur nos routes.

Le Gouvernement du Québec contribue également à cet effort d'électrification des transports en transformant son parc de véhicules gouvernementaux : « *L'objectif de 2 000 véhicules électriques dans le parc gouvernemental au 31 mars 2023 a même été dépassé* »³.

³ Informations issues de : <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/electrification-des-transports#:~:text=L'objectif%20de%20%20000,25%20%25%20des%20camionnettes.>

Ici, il est important de se rappeler que les véhicules électriques ne se limitent pas aux automobiles. Les bicyclettes électriques, les motocyclettes électriques, les autobus électriques, la machinerie agricole électrique, les locomotives électriques⁴, etc. sont des véhicules électriques. La grande variabilité de ces types de véhicules rend difficile un recensement complet de tous ces véhicules sur le territoire québécois.

Les comportements du feu impliquant des batteries aux ions de lithium

Les risques liés aux batteries aux ions de lithium

Les batteries aux ions de lithium comportent des risques. Elles sont considérées comme des **matières dangereuses** par le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, DORS 2001-286 du Gouvernement du Canada. Lors du transport, les batteries aux ions de lithium doivent être identifiées par les codes 3480 (emballées seules) et 3481 (emballées avec de l'équipement).

Figure 3. Logos de transport obligatoires des batteries aux ions de lithium



Le Conseil national de recherche du Canada CNRC (2021 : 14-15) identifie 6 types de situations qui peuvent influencer la sûreté et la durabilité des batteries aux ions de lithium :

- La surcharge;
- La décharge profonde;
- La surintensité;
- La température excessive;
- La température insuffisante;
- Les dommages matériels.

Afin de limiter ces risques, Santé Canada, diffuse des recommandations d'usage et d'entreposage des batteries aux ions de lithium :

⁴ Sur les locomotives électriques, nous référons au rapport CNRC (2023) *Risk Assessment of Hydrogen and Battery Power in Locomotives* et tout particulièrement à la partie 2 *Risks and Hazards Assessment*

Santé Canada
Sécurité des piles : Piles au lithium-ion

Conseils pour les grandes batteries

Utilisation

- Utilisez les piles au lithium-ion fournies avec votre produit. Si vous avez besoin de piles de rechange, communiquez avec le fabricant du produit d'origine. Si vous n'arrivez pas à joindre le fabricant du produit d'origine, communiquez avec le détaillant du produit.
- Attendez que les piles soient à la température ambiante avant de les utiliser. N'essayez pas de recharger ces piles à des températures sous zéro.
- N'essayez pas de modifier les piles au lithium-ion. Toute modification peut les déstabiliser et accroître le risque de surchauffe, d'incendie et d'explosion.
- Lisez et suivez toutes les directives du fabricant.

Entreposage

- Entrepochez les piles au lithium-ion chargées à 50 % lorsqu'elles ne sont pas utilisées pendant de longues périodes. Vérifiez-les tous les 3 mois pour vous assurer qu'elles ne se sont pas déchargées. Sinon, rechargez-les à 50 %.
- Gardez les piles au lithium-ion dans un milieu où le taux d'humidité est faible et où la température se situe entre 5 °C et 20 °C. Si vous pouvez enlever les piles de votre appareil, vous pourriez devoir les retirer si vous entreposez le produit pendant les périodes les plus chaudes ou froides de l'année.
- Gardez les piles au lithium-ion loin de ce qui suit :
 - Autres types de piles et de batteries
 - Substances inflammables ou explosives
- Ne mettez pas d'objets pesants sur des boîtes contenant des piles au lithium-ion.

Élimination

- Communiquez avec votre municipalité afin d'obtenir les directives pour l'élimination sans danger des piles au lithium-ion.
- Les piles sont considérées comme des déchets dangereux. Ne les jetez pas dans les ordures ménagères.

Source : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/produits-menagers/securite-piles/lithium-ion.html>

Le rapport CNRC (2021 :16), identifie aussi 5 risques principaux posés par les batteries aux ions de lithium :

- La pression interne qui augmente avec la température;
- Les gaz inflammables contenus dans l'électrolyte;
- Les produits chimiques volatils et corrosifs contenus dans l'électrolyte;
- La tension qui peut atteindre 50V et plus;
- La surcharge et l'incendie incluant l'emballement thermique.

Ce risque d'emballement thermique est important à saisir pour les pompiers et ce pour trois raisons :

1. La rapidité de l'emballement thermique de la batterie et les risques associés dont l'**explosion des gaz** (CNRC 2023 : 19-23, CNRC 2021 : 39, Goupil 2021, Ji et al. 2022, Li et al. 2022, NTSB 2020 : 55-56);
2. La possibilité que la batterie atteigne des **températures élevées avec ou sans flammes** et demeure chaude tant qu'elle n'est pas totalement déchargée (CNRC,2021 : 39, FSRI-UL, 2022b, NFPA, 2014a : 109);
3. Le **risque de ré-ignition** plusieurs jours ou semaines après l'incendie initial (CNRC, 2021 : 36, NHTSA, 2021 : 23, NFPA, 2014a : 109, NFPA 2014b : 18, NTSB, 2020 : 58).

Attardons-nous à ces trois conséquences de l'emballement thermique qui impactent les interventions de combat incendie.

Explications visuelles des risques des incendies de batteries aux ions de lithium

Pour des explications visuelles, nous recommandons ces vidéos :

- Le reportage *Des feux de batteries lithium-ion intenses*, diffusé en 2023 à l'émission Découverte de Radio-Canada <https://www.youtube.com/watch?v=Q12xoc-0--8>
- Une vidéo anglophone du National Fire Protection Association NFPA <https://www.nfpa.org/EV>
- Une vidéo anglophone du Fire Safety Research Institute FSRI -UL <https://vimeo.com/801611142/0335647fb0>
- Une vidéo anglophone du National transportation Safety Board NTSB <https://www.youtube.com/watch?v=J6eS6JzBn0k>
- Une vidéo anglophone du EV FireSafe, un groupe australien de recherche et de formation sur les incendies de véhicules électriques <https://www.youtube.com/watch?v=52mfE2w9t1c>

L'emballement thermique rapide et les risques d'explosions des gaz

Les pompiers connaissent bien les phases de développement d'un incendie soit : la naissance, le développement, la combustion généralisée et la détérioration (IFTSA, 2022 : 144-165). Leurs techniques de combat incendie – attaque transitoire, ventilation, etc. – visent à ralentir ces phases de développement d'un incendie.

Lors d'un incendie impliquant une batterie aux ions de lithium, ces **phases de développement se produiront très rapidement**. Deux phénomènes augmentent la rapidité des phases de développement d'un incendie : (1) le **dégazage**, soit la perte de gaz chauds et (2) les **projections** de flammes et d'éclats de batteries aux alentours (CNRC 2023 : 19-23, CNRC, 2021 : 39, Goupil 2021, Li et al. 2022 : 1306).

Le groupe de recherche australien, EV FireSafe, a produit une courte vidéo, en anglais, pour expliquer l'emballement thermique, le dégazage et la projection de flammes et d'éclats.

Figure 4. Vidéo EV FireSafe. Emballement thermique et feux de véhicules électriques

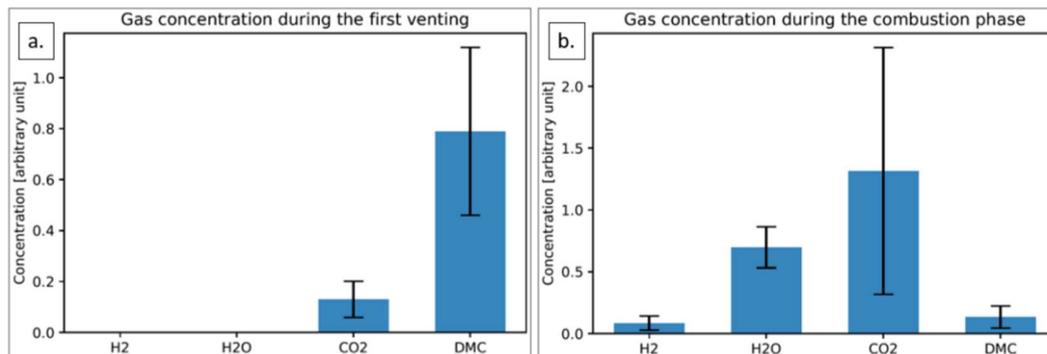


Source : https://www.youtube.com/watch?v=M9Cl6_Y2rXU

Selon le mémoire de maîtrise en génie mécanique de Goupil (2021 : 56), réalisé à Polytechnique Montréal, un dégazage initial – sans flamme – se produira et libérera principalement du CDM (DMC en anglais) soit du carbonate de diméthyle $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{CO}$ un gaz hautement inflammable dont l'inflammation se produit à 458°C^5 . Ce dégazage démontre que les cellules de la batterie (piles) se dégradent et que les électrolytes s'évaporent. S'en suivra une phase de dégazage avec flammes qui contiendra, principalement du CO_2 et du H_2O .

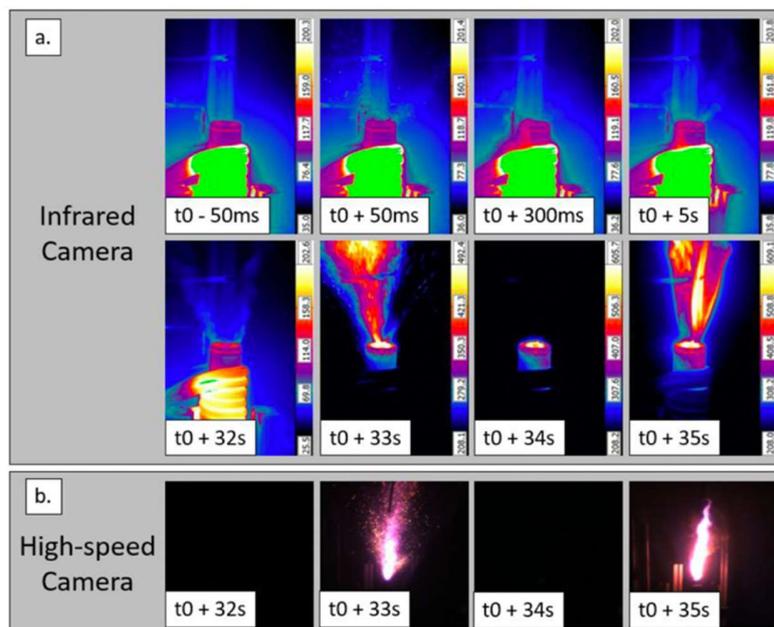
⁵ Comme l'indique le *Guide de l'instructeur du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NFPA, 2014 : 110) : « Chaque type de batterie émet des substances différentes en brûlant ».

Figure 5. La concentration des gaz (a) au premier dégazage et (b) à la combustion suivant le dégazage majeur (Goupil 2021: 56)



Le mémoire de Goupil (2021 : 54) réalisé dans des conditions contrôlées de laboratoire, montre deux dégazages de gaz chauds (33 secondes et 35 secondes) et une première inflammation des gaz lors du deuxième dégazage (35 secondes). Notons aussi la projection de la flamme perçue par la caméra rapide (high speed camera) à 35 secondes.

Figure 6. Images issues (a) d'une caméra infrarouge et (b) d'une caméra rapide pendant un emballement thermique (Goupil, 2021:54)



Lors d'essais sur des batteries de motocyclettes dans une pièce standard close, le Fire Safety Research Institute FSRI de UL constate, pour sa part, un embrasement généralisé des gaz en 20 secondes après que les premiers signes visibles de gaz (fumées) s'échappent de la batterie⁶.

⁶ La vidéo de cet essai en environnement sécurisé est disponible via : <https://fsri.org/research/examining-fire-safety-hazards-lithium-ion-battery-powered-e-mobility-devices-homes>

Ji et al. (2022), aussi dans des conditions contrôlées de laboratoire, observent que lors d'un emballement thermique la surface des batteries aux ions de lithium, atteignent rapidement près de 500°C et ce, en environ 100 secondes (1,4 minutes). La chaleur à l'intérieur du bloc batterie peut atteindre près de 800°C en moins de 200 secondes (3 minutes).

Pour sa part, le rapport du CNRC (2021: 44) affirme qu'une batterie aux ions de lithium peut atteindre une chaleur interne de 900°C. Sharp et al. (2022) affirment plutôt que, dans leurs conditions de laboratoire et avec une lecture des températures par vidéos radiographiques, la température interne des batteries peut dépasser 1080 °C soit la température de fusion du cuivre (Sharp et al., 2022 :9).

Ces différences des températures internes des batteries et du temps nécessaire à un embrasement des gaz peuvent être associées à divers facteurs notamment les composantes chimiques des électrolytes, la taille et la forme des cellules de batteries, l'état de la charge de la batterie mais également aux conditions de réalisation de ces expériences en laboratoire. Sharp et al. (2022) offrent une étude comparative de l'emballement thermique de 4 types de batteries dans des conditions diverses (surcharge, perçage, etc.).

Par contre, [dans toutes ces expériences, les gaz s'embrassent très rapidement.](#)

Rappelons aussi que les batteries aux ions de lithium sont constituées de plusieurs cellules (piles) et que l'embrasement d'une cellule (pile) peut entraîner une réaction en chaîne qui, comme un jeu de dominos, provoquera l'embrasement des cellules voisines.

La batterie étant dans un caisson, il est impossible de constater à l'œil nu si cette réaction en chaîne est terminée ou non. La caméra thermique est donc le meilleur outil pour évaluer ce qui se passe à l'intérieur de la batterie.

Des températures élevées avec ou sans flammes

Il est important de retenir que, lors d'un emballement thermique d'une batterie aux ions de lithium, [l'absence de flammes ne signifie pas que le risque est écarté.](#) Au contraire, et comme l'affirme le rapport du CNRC (2021) et les essais en laboratoire de Ji et al. (2022), la chaleur peut demeurer très élevée dans la batterie voire augmenter avec le temps.

En effet, comme un jeu de dominos, l'embrasement d'une cellule (pile) de la batterie peut entraîner l'embrasement de cellules voisines. La chaleur peut ainsi augmenter et ce, sans qu'aucune flamme ne soit visible.

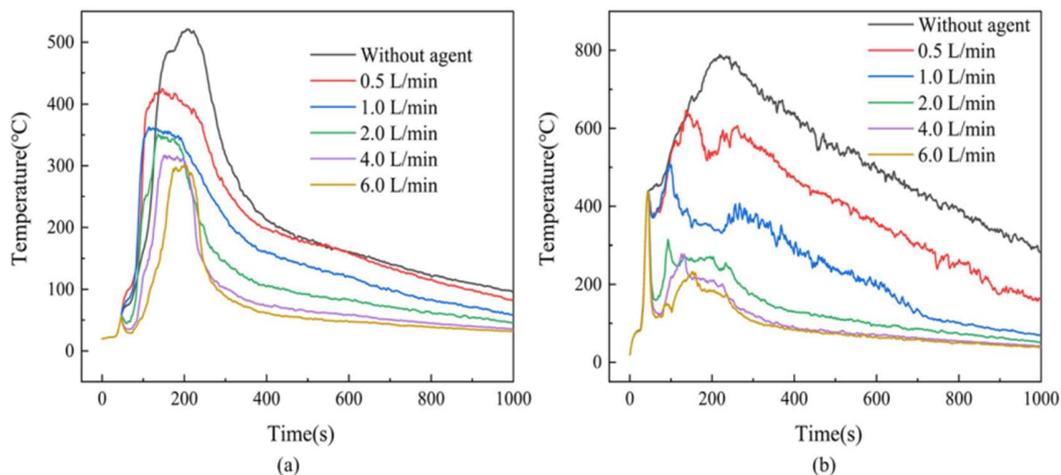
L'objectif est donc de [refroidir la batterie.](#)

C'est bien ce qu'affirme le rapport du CNRC (2021 :44) :

Le refroidissement rapide de la batterie peut permettre d'éviter la propagation aux autres piles, mais cette opération est souvent rendue impossible par le boîtier de la batterie.

Il faut donc refroidir la batterie en refroidissant son boîtier étanche. L'eau est l'agent refroidissant le plus rapidement disponible aux pompiers. Ji et al. (2022) ont testé divers types de jets de lances et débits de jets. Leur conclusion est que le jet de *gouttelettes fines* (4.0 litres/minute) appliqué en continu directement sur le bloc batterie est la meilleure option pour refroidir la batterie. Ce jet constant et fin (brouillard) est couramment utilisé par les pompiers pour refroidir des surfaces ou des gaz.

Figure 7. Température selon les jets de lances (a) du module de batterie (b) au centre du module de batterie (Ji et al.,2022:1238)



Pour parvenir à refroidir une batterie aux ions de lithium de véhicule électrique, le *volume d'eau est important et variable*. Ce volume d'eau varie en fonction de la grosseur de la batterie, de la température interne de la batterie et de l'état de sa charge.

Les données du rapport du National Transportation Safety Board NTSB diffèrent sur le galonnage d'eau nécessaire. Les données du NTSB varient entre 300 gallons et 20 000 gallons pour refroidir des batteries de véhicules électriques (NTSB, 2020 : 54).

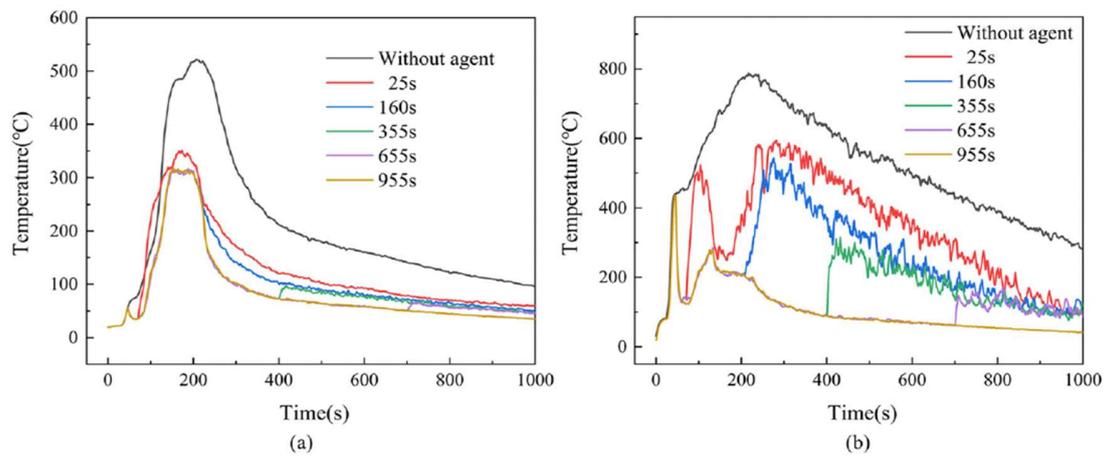
Cette variation de galonnage d'eau est aussi expliquée dans le *Guide de l'instructeur du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NFPA, 2014a : 108) où de 4 823L (1274 gal.) à 9 990L (2 639 gal.) d'eau ont été nécessaires pour éteindre des incendies de batteries de véhicules électriques.

Par précaution, il est recommandé de prévoir un volume important d'eau pour parvenir à refroidir une batterie aux ions de lithium (NFPA, 2014a:108).

En termes de temps, ce même guide NFPA (2014a: 108), indique qu'entre 36 minutes et 60 minutes ont été nécessaires pour éteindre ces mêmes incendies de batteries de véhicules électriques. Pour leur part, dans le contexte de laboratoire de Ji et al. (2022b), il a fallu près de 16 minutes (955 secondes) avec divers types de lances et de jets pour parvenir à réguler la température interne d'une batterie aux ions de lithium.

À partir des essais de Ji et al. (2022) (figure 8), il est important de remarquer que le refroidissement de la batterie n'est pas linéaire : la température interne de la batterie peut subitement remonter. Cette remontée de la température interne est associée à la réaction en chaîne, au jeu de dominos, qui fait embraser une nouvelle cellule. Le boîtier étanche de la batterie empêche de voir l'état des cellules (piles) : la remontée de la température interne de la batterie est donc imprévisible.

Figure 8. Température selon la durée des jets de lances (a) du module de batterie (b) au centre du module de batterie (Ji et al., 2022 :1243)



La température doit donc être prise et validée à plusieurs reprises avec une [caméra thermique](#). Le *Guide de l'instructeur du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NFPA, 2014a : 109) et le rapport du National Transport Safety Board NTSB (2020 : 55) font cette recommandation.

Un risque de ré-ignition plusieurs jours après le premier emballement thermique

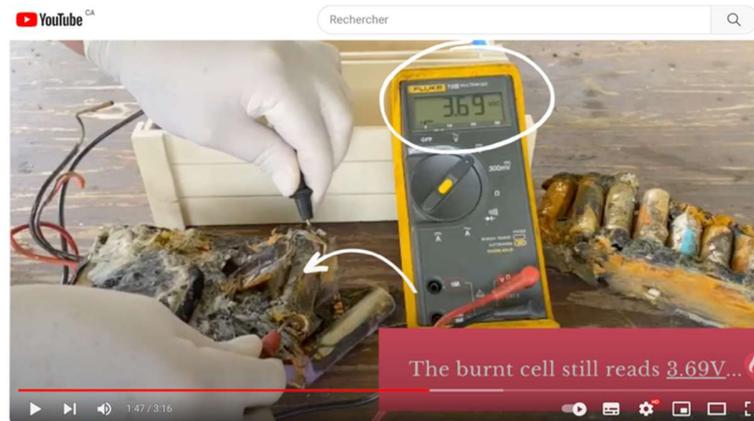
Le Guide NFPA (2014a : 109) mentionne également que cette surveillance par caméra thermique doit se poursuivre plusieurs jours afin de surveiller les risques de ré-ignition :

Les incendies de batterie HT sont extrêmement difficiles à éteindre et peuvent se rallumer après coup. Durant les tests, un incendie de batterie HT s'est rallumé plusieurs heures après avoir été jugé éteint. Surveiller la situation par imagerie thermique.

Le NTSB (2020 : 58) fait la même recommandation. Le NTSB affirme que les batteries aux ions de lithium qu'ils ont étudiées se sont réembrasées plusieurs fois (NTSB, 2020 : 58).

Afin d'éviter cette ré-ignition, une immersion des batteries aux ions de lithium et des véhicules électriques dans de l'eau est pratiquée notamment dans des caissons d'immersion. Cette immersion ne fait pas unanimité. Le EV FireSafe diffuse une vidéo pour démontrer qu'une charge peut demeurer dans une batterie aux ions de lithium après une longue immersion dans l'eau.

Figure 9. Vidéo EV FireSafe. Une batterie aux ions de lithium gardera une charge après avoir été immergée dans l'eau



Source : <https://www.youtube.com/watch?v=MxBK5FukqDE>

De plus, lors de tests contrôlés d'immersion de batteries aux ions de lithium, le National Highway Traffic Safety Administration NHTSA a constaté deux **ré-ignitions après immersion** (NHTSA 2021 : 23). Leur recommandation est donc de poursuivre l'observation de la température de la batterie après une immersion.

Pour sa part, le rapport du CNRC (2021) recommande de décharger les batteries aux ions de lithium endommagées. Les pompiers n'ont pas les équipements pour décharger des batteries aux ions de lithium. Lorsque le déchargement des batteries est impossible, ces batteries « *devraient être placées dans un endroit isolé et sûr où leur température sera surveillée et où des inspections visuelles régulières seront faites pour surveiller l'évolution de leur état* » (CNRC, 2021 : 41).

Par précaution, les véhicules électriques endommagés devraient être isolés des autres véhicules. Le EV FireSafe recommande une distance de 15 à 30 mètres (50 à 100 pi) entre un véhicule électrique endommagé et les autres véhicules (EV FireSafe, 2021 :41). Le NFPA (2014b : 18) recommande également de ne pas entreposer un véhicule électrique endommagé ou brûlé à moins de 15 mètres (50 pi) d'une structure ou d'un autre véhicule.

Le *Guide d'urgence pour les véhicules électriques et hybrides* de la NFPA (2014b : 18) précise également que :

Le rallumage d'un bloc-batterie haute tension s'accompagne généralement d'un bruit de soufflement ou de crépitement, suivi de la production de fumée blanche et d'arcs électriques ou d'étincelles assortis de flammes. Un rallumage peut survenir plusieurs heures, voire 24 heures ou plus, après l'extinction de l'incendie.

LA TABLE PROVINCIALE SUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Afin de répondre aux défis des interventions impliquant des véhicules électriques, la Table provinciale sur les véhicules électriques a été créée. Elle regroupe des acteurs de la formation incendie et des services de sécurité incendie du Québec.

Mandat

1. Le mandat de la Table provinciale sur les véhicules électriques est de :

Recueillir les informations pertinentes entourant l'utilisation de l'électricité pour les véhicules et autres équipements, les principes d'accumulation de l'énergie, les risques de défaillance et d'incendie, les risques chimiques et les risques d'électrocution.

La Table provinciale sur les véhicules électriques s'inscrit directement dans l'objectif 1.5 du Plan stratégique 2022-2027 du ministère de la Sécurité publique MSP soit : *Favoriser l'innovation en matière de sécurité publique par la recherche, le transfert des connaissances et le recours aux nouvelles technologies* (MSP, 2023 :22)

La Table provinciale sur les véhicules électriques s'inscrit également dans les mandats de recherche de l'École nationale des pompiers du Québec énoncés dans l'article 57 de la loi sur la sécurité incendie du Québec soit :

[L'École] effectue ou fait effectuer des recherches et des études dans des domaines touchant le travail du personnel municipal en sécurité incendie et pouvant avoir une incidence sur leur formation ; elle en publie et en diffuse les résultats, en particulier auprès du milieu de la sécurité incendie (L.R.Q, S-3.04, art 57).

Membres

L'École a réuni une quinzaine de participants à cette Table provinciale sur les véhicules électriques provenant de services de sécurité incendie de l'ensemble du Québec et de partenaires en formation incendie.

Rencontres tenues

Afin de faciliter la participation de partenaires de tout le territoire du Québec, les rencontres se sont tenues en mode virtuel (Teams). En préparation de chacune des rencontres, un ordre du jour et une revue d'articles médiatiques sur les incendies de véhicules électriques ont été transmis aux membres de la Table par l'École nationale des pompiers du Québec⁷.

Une première rencontre a été tenue le 15 mai 2023. Cette première rencontre a été animée par Stephen Valade, directeur de l'École nationale des pompiers du Québec. La Table a été officiellement créée et son mandat énoncé. Des discussions sur les connaissances générales en matière de batterie aux ions de lithium et d'interventions impliquant des véhicules électriques ont été entamées.

Une deuxième rencontre a été tenue le 7 septembre 2023. Cette rencontre fut animée par Dany Drolet, directeur aux opérations de l'École nationale des pompiers du Québec qui a animé les rencontres subséquentes. La rencontre fut l'occasion d'entendre un invité, M. Clément Caron ingénieur et vice-président pour l'est du Canada d'Ingénieur forensique, qui a offert une présentation intitulée *Batteries et piles au lithium : les défaillances et les dangers associés*. Des échanges ont suivi cette présentation. Il a été soulevé que des statistiques sur les incendies de véhicules électriques sur l'ensemble du territoire permettraient de mieux connaître la situation et les réalités d'intervention.

Une troisième rencontre a été tenue le 19 octobre 2023. Cette rencontre a permis aux membres de présenter et de discuter des outils de prévention disponibles au Québec notamment dans les services de sécurité incendie des villes de Blainville, Laval, Montréal et Québec. Les discussions sur la pertinence d'établir des statistiques sur les incendies de véhicules électriques se sont poursuivies et le ministère de la Sécurité publique MSP a annoncé des actions en ce sens. Des discussions sont aussi en cours pour établir un outil informatique de partage d'informations entre les membres de la Table.

Une quatrième rencontre a été tenue le 7 décembre 2023. Cette rencontre fut l'occasion d'entendre une présentation de M. Bruno Bacon et Mme. Isabel Cyr de la firme Lithion Technologies sur le recyclage des batteries aux ions de lithium. Il a également été annoncé que le MSP avait développé un questionnaire pour compiler des statistiques sur les incendies de véhicules électriques. L'outil de partage d'informations est en évaluation. Des enjeux de sécurité informatique doivent être pris en considération. Un projet-pilote (SharePoint local) est en développement et en voie d'autorisation au MSP.

Une cinquième rencontre a été tenue le 22 février 2024. Elle fut l'occasion pour le Service de sécurité incendie de la Ville de Trois-Rivières de présenter leur intervention du 7 novembre 2023 dans un entrepôt industriel. Cet incendie a impliqué un véhicule électrique et a entièrement détruit l'entrepôt. La rencontre fut également l'occasion pour le MSP de présenter de premières statistiques sur les incendies de véhicules électriques au Québec. Les membres de la Table ont

⁷ Nous tenons à remercier Mme Nadine Hounkponou, ajointe à la Direction de l'École nationale des pompiers du Québec pour son apport logistique aux travaux de la Table.

félicité le MSP pour la rapidité de cette première collecte de données et tiennent à remercier tous les services de sécurité incendie qui ont répondu au questionnaire.

Une sixième rencontre a été tenue le 11 avril 2024.

Cette rencontre a été centrée sur la présentation du rapport final des activités de la Table.

LES TRAVAUX DE LA TABLE SUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Les travaux de la Table provinciale sur les véhicules électriques ont été menés sur 4 axes :

1. la prévention des incendies liés aux batteries aux ions de lithium ;
2. la formation au combat d'incendie impliquant des batteries aux ions de lithium ;
3. la veille et la diffusion d'informations scientifiques ;
4. le développement et la diffusion de statistiques sur les incendies de véhicules électriques.

Attardons-nous à chacun de ces axes.

Prévenir les incendies liés aux batteries aux ions de lithium

La prévention est la meilleure option pour diminuer les incendies liés aux batteries aux ions de lithium. Notons que la prévention est la première orientation du plan stratégique du ministère de la Sécurité publique (MSP, 2023 : 19) et que « *Réduire les risques en matière d'incendie par la prévention, la sensibilisation et la promotion de bonnes pratiques* » en est l'objectif 1.2. (MSP, 2023 : 20).

Plusieurs services de sécurité incendie ont développé des informations de prévention destinées au grand public pour les sensibiliser aux risques du mauvais usages, du mauvais entretien et du mauvais entreposage des batteries aux ions de lithium.

La prévention des incendies de batteries aux ions de lithium a été au cœur de la rencontre de la Table du 19 octobre 2023. Les membres de la Table sont unanimes : il faut informer les citoyens des risques associés à l'utilisation, l'entreposage, la recharge et la disposition en fin de vie des batteries aux ions de lithium.

Au Canada, Santé Canada offre plusieurs conseils aux citoyens via son site web⁸. Nous avons exposé ces conseils dans la section *Contexte*, du présent rapport.

Au nombre des campagnes de prévention élaborées par les services de sécurité incendie, soulignons la campagne du Fire Department of New York. Une page web du FDNY est destinée à la prévention des incendies de batteries aux ions de lithium⁹. La chaîne Youtube du FDNY¹⁰ compte aussi plusieurs vidéos de prévention à l'intention des citoyens.

⁸ L'information est disponible via : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/produits-menagers/securete-piles/lithium-ion.html>

⁹ L'information est disponible via : <https://www.nyc.gov/site/fdny/codes/reference/lithium-ion-battery-safety.page>

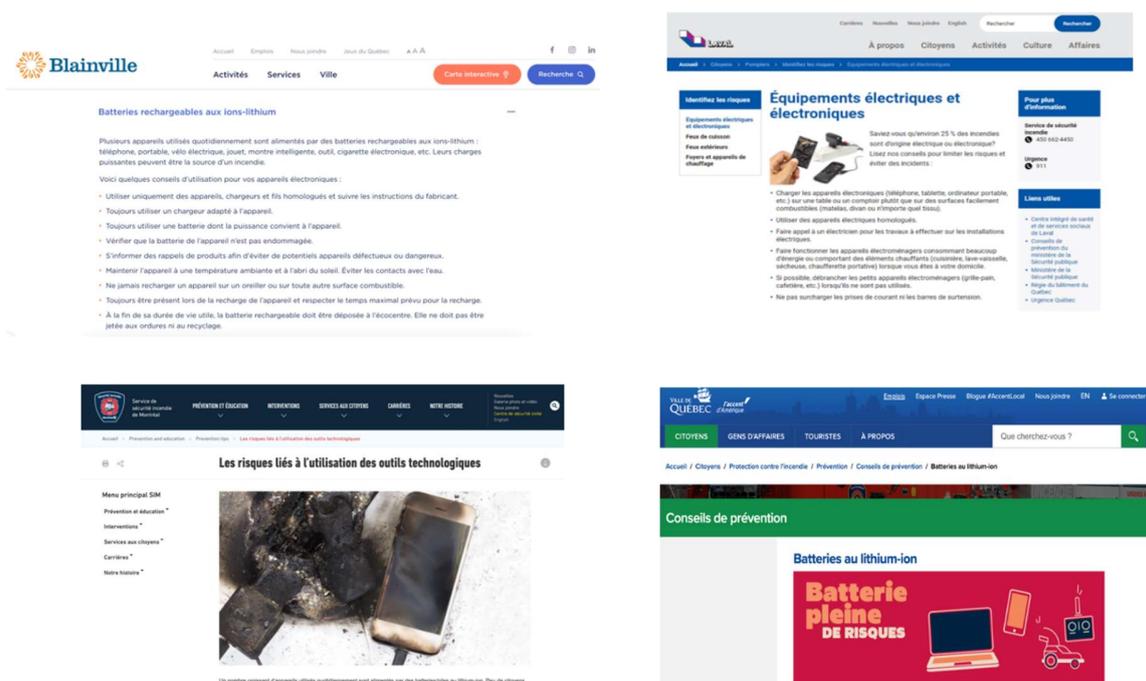
¹⁰ L'information est disponible via : <https://www.youtube.com/@OfficialFDNY>

La prévention des incendies de batteries aux ions de lithium par les membres de la Table

Plusieurs organisations membre de la Table ont développé et diffusent des informations préventives à l'intention des citoyens. Au nombre de ces diffusions, notons, en ordre alphabétique, les sites web des services de sécurité incendie des villes de Blainville, Laval, Montréal et Québec.

Bien que divergeant dans leurs visuels, ces sites web offrent tous des informations préventives pertinentes dont : utiliser des chargeurs recommandés par le fabricant, être présent lors de la recharge des batteries, ne pas surchauffer les batteries, ne pas exposer les batteries au soleil ou à des sources de chaleur et disposer des batteries en fin de vie de façon sécuritaire dont dans un écocentre.

Figure 10. Quelques exemples de site web sur la prévention des incendies de batteries aux ions de lithium



Sources :

Blainville <https://blainville.ca/page/conseils-deecurite>

Laval <https://www.laval.ca/Pages/Fr/Citoyens/equipements-electriques-electroniques.aspx>

Montréal <https://ville.montreal.qc.ca/sim/les-risques-lies-lutilisation-des-outils-technologiques>

Québec <https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/incendie/prevention/conseils/conseils-batterie-au-lithium.aspx>

Les représentations médiatiques et publiques des organisations membres de la Table

Outre les sites web des services de sécurité incendie, les membres de la Table ont réalisé des représentations publiques préventives.

L'**Association des gestionnaires en sécurité incendie et civile du Québec** AGSICQ, en collaboration avec le MSP, a produit un cahier spécial pour la semaine nationale de la prévention incendie. Ce cahier a été diffusé dans le Journal de Montréal et le Journal de Québec du 7 octobre 2023. Ce cahier a été rendu disponible à tous les services de sécurité incendie en faisant la demande¹¹.

Figure 11. Cahier spécial diffusé par l'AGSICQ lors de la Semaine de prévention des incendies



Soulignons également l'**entrevue médiatique à la radio** 98,5 FM de M. **Martin Guilbault**, Chef de division du Centre de formation du **Service de sécurité incendie de Montréal SIM**¹². Monsieur Guilbault a transmis des conseils de prévention en matière d'incendie de batteries aux ions de lithium et a fait part de l'existence et du mandat de la Table provinciale des véhicules électriques.

Un **reportage TVA et Journal de Montréal** impliquant M. Dany Drolet de L'**École nationale des pompiers du Québec ENPQ** et de M. **Martin Guilbault**, Chef de division du Centre de formation du **Service de sécurité incendie de Montréal SIM** a été diffusé le 18 avril 2024¹³.

L'**École nationale des pompiers du Québec ENPQ** diffusera le présent rapport à ses partenaires du milieu de la sécurité incendie par une présentation au Congrès annuel de l'Association des gestionnaires en sécurité incendie et civile du Québec 2024.

¹¹ L'information est issue de : <https://www.acsiq.qc.ca/cms/publications/projets-prevention#:~:text=Projets%20intermunicipaux%202023,nationale%20de%20pr%C3%A9vention%20des%20incendies>

¹² L'intégral de cette entrevue est disponible via : <https://www.985fm.ca/audio/602634/savez-vous-comment-on-eteint-un-incendie-impliquant-un-vehicule-electrique>

¹³ L'article et le reportage sont disponibles via : [Trottinettes, vélos, scooters: hausse «exponentielle» des feux de batteries | JDM \(journaldemontreal.com\)](https://www.journaldemontreal.com)

Former les pompiers à combattre les incendies de batteries aux ions de lithium

Pour répondre aux risques liés aux véhicules électriques de façon sécuritaire, le *Guide de l'instructeur du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NFPA, 2014a) offre une introduction aux notions et aux risques relatifs aux véhicules électriques et des méthodes d'interventions pour diverses situations impliquant des véhicules électriques dont la désincarcération, les véhicules submergés et les incendies de véhicules. Nous ne reprendrons pas ici ces méthodes d'opérations. Nous invitons plutôt le lecteur à prendre connaissance de ce document produit par le NFPA.

Le *Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NFPA 2014) offre des mesures de santé et de sécurité en matière d'incendie de véhicules électriques. Afin de maximiser la sécurité des interventions incendie en matière de véhicules électriques, nous recopions ici, intégralement, ces mesures de santé et de sécurité.

Mesures de santé et de sécurité pour tous les incendies de véhicules électriques présentées dans le *Manuel de l'apprenant du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile combustible* (NFPA 2014c : 68)

- Se munir d'un APRIA et d'un EPI de lutte contre l'incendie conformes aux normes de la NFPA.
- Se servir de l'équipement standard pour l'extinction.
- NE PAS utiliser d'équipement (p. ex. outil d'Halligan) pour percer le capot à l'aveuglette afin d'éviter la perforation accidentelle de condensateurs ou de composants HT.
- Lorsqu'il est sécuritaire de le faire, suivre la procédure de neutralisation habituelle.
- Comme pour tous les incendies de véhicule, éviter d'inhaler les substances toxiques émises.
- Garder les passants et tout le personnel non essentiel contre le vent, en amont de la zone dangereuse, si possible.

Outre les informations et méthodes d'opérations du NFPA, les pompiers doivent connaître les outils et méthodes d'interventions qui se développent et se testent actuellement à travers le monde. Connaître ces outils et méthodes, leurs apports et leurs limites, est la meilleure façon de choisir ce qui conviendra aux contextes d'interventions de chaque service de sécurité incendie SSI.

Avant d'entamer la présentation de ces outils et méthodes rappelons que le [refroidissement de la batterie](#) est la recommandation du rapport du Conseil national de recherche du Canada CNRC (2021 : 44) : « *Le refroidissement rapide de la batterie peut permettre d'éviter la propagation aux autres piles* ».

Rappelons également que la batterie aux ions de lithium [peut se réembraser plusieurs fois](#) (NTSB, 2020 : 58). Les véhicules avec batteries aux ions de lithium endommagées, « *devraient donc être placées dans un [endroit isolé](#) et sûr où leur [température sera surveillée](#) et où des inspections visuelles régulières seront faites pour surveiller l'évolution de leur état* » (CNRC, 2021 : 41).

Avertissements concernant la présentation des outils d'intervention

L'École nationale des pompiers du Québec ENPQ ne fabrique pas et ne commercialise pas les outils d'interventions présentés dans ce rapport. Ce rapport ne constitue pas une publicité. Les services de sécurité incendie sont les responsables de l'évaluation de leurs besoins en matériel et de leurs choix de fournisseurs.

Par souci de clarté de la présentation, des photographies et des vidéos des outils d'intervention sont présentées. Plusieurs de ces produits sont fabriqués et commercialisés en anglais seulement. Lorsque possible, une présentation francophone des outils a été priorisée et des accès à des modes d'emploi du fabricant traduits en français sont indiqués dans le texte. Ces choix ne constituent pas une priorisation de fabricants ni de fournisseurs mais bien un souci d'offrir des informations en français.

L'eau : un agent de refroidissement efficace et à la portée des pompiers

L'eau est un agent de refroidissement efficace pour [refroidir une batterie aux ions de lithium](#) et limiter la possibilité et les conséquences d'emballement thermique.

Lors de la section *Contexte* en début de ce rapport, nous avons posé que le [volume d'eau nécessaire est important et variable](#) en fonction de la grosseur de la batterie, de la température interne de la batterie et de l'état de charge (NFPA, 2014a : 108, NTSB, 2020 : 54). Le temps d'intervention nécessaire pour refroidir une batterie aux ions de lithium varie également. Un jet de [gouttelettes fines](#) (4.0 litres/minute) appliqué en continu directement sur le boîtier étanche de la batterie est la meilleure option pour refroidir la batterie (Ji et al.,2022:1238).

Rappelons également que le boîtier étanche de la batterie empêche de voir l'état des cellules (piles) : la remontée de la température interne de la batterie est imprévisible. La température doit donc être prise et validée à plusieurs reprises avec une [caméra thermique](#). Le *Guide de l'instructeur du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NFPA, 2014a : 109) et le rapport du National Transport Safety Board NTSB (2020 : 55) font cette recommandation.

La batterie est couramment située sous le véhicule. Il peut donc être difficile de diriger le jet de la lance directement sur la batterie. Pour faciliter la manœuvre, et s'il est sécuritaire de le faire, le véhicule peut être incliné sur le côté.

Figure 12. Incliner le véhicule permet d'orienter le jet de lance sur la batterie



Source : <https://youtu.be/Q12xoc-0--8?si=3fBD5umH1KSUER2->

Des têtes de lances spécifiques peuvent aussi être utilisées pour diriger le jet de lance directement sous le véhicule.

Figure 13. Des têtes de lances adaptées pour diriger le jet sous le véhicule



Source : <https://www.youtube.com/watch?v=n2yHZsFp0Mc>

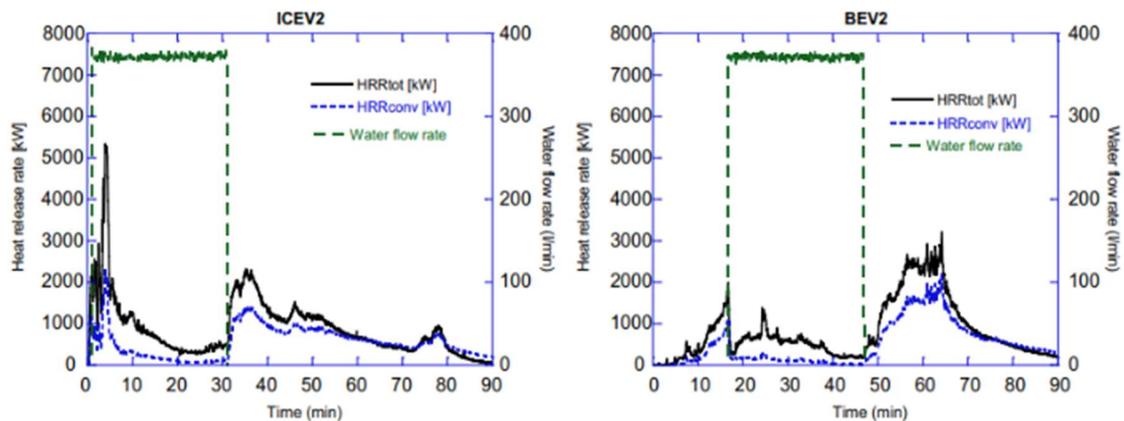
Source : <https://www.ziamatic.com/product/vehicule-cooling-units/>

L'eau utilisée lors d'incendies de véhicules électriques pourrait aussi provenir de **gicleurs** installés, par exemple, dans des garages souterrains. Afin de vérifier la pertinence de ces gicleurs deux chercheurs du Research Institutes of Sweden, Arvidson et Westlund (2023) ont, en laboratoire, comparé les impacts de gicleurs lors d'incendie des véhicules réguliers à essence (ICEV2) et des véhicules électriques à batterie aux ions de lithium (BEV2). Plusieurs constats ressortent de leurs essais notamment que des gicleurs seront efficaces peu importe le type de véhicules : les gicleurs réduiront la température des gaz et des surfaces.

Par contre, comme les gicleurs sont situés aux plafonds, ils refroidissent prioritairement les surfaces et non pas la batterie du véhicule électrique. Une ré-ignition de la batterie demeure donc

possible. La figure suivante montre bien que la température de la batterie (BEV2) peut augmenter après l'action des gicleurs.

Figure 14. Températures atteintes sous gicleurs par un véhicule à combustion régulier (ICEV2) et un véhicule à batterie aux ions de lithium (BEV2) (Arvidson et Westlund, 2023 :3401)



L'eau, par un jet de lance et par gicleurs, est donc efficace lors d'incendie de véhicules électriques.

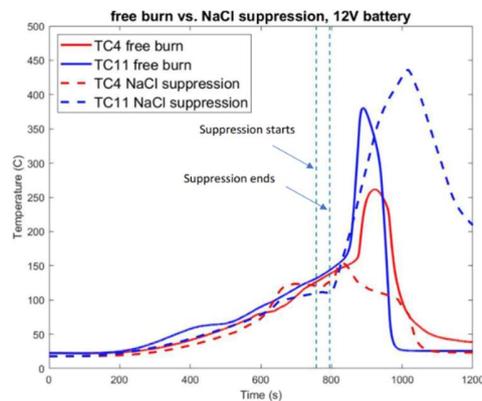
Un jet de lance dirigé directement sur la batterie permettra de refroidir le boîtier étanche de la batterie et, graduellement, de diminuer la température interne des cellules de la batterie responsable de la réaction en chaîne de l'embrasement thermique. Les gicleurs, eux, diminueront la température des gaz et la température des surfaces donc les risques de propagation aux surfaces à proximité.

Les extincteurs chimiques de type D (NaCl) et les extincteurs en poudre de type ABC

Le Pittsburgh Mining Research Division du National Institute for Occupational Safety and Health NIOSH (Tang et al., 2023) a effectué des tests contrôlés d'extinction d'incendies de batteries aux ions de lithium avec trois modes d'extinction : (1) l'eau, (2) l'extincteur chimique de type D (NaCl) et (3) les extincteurs en poudre de type ABC.

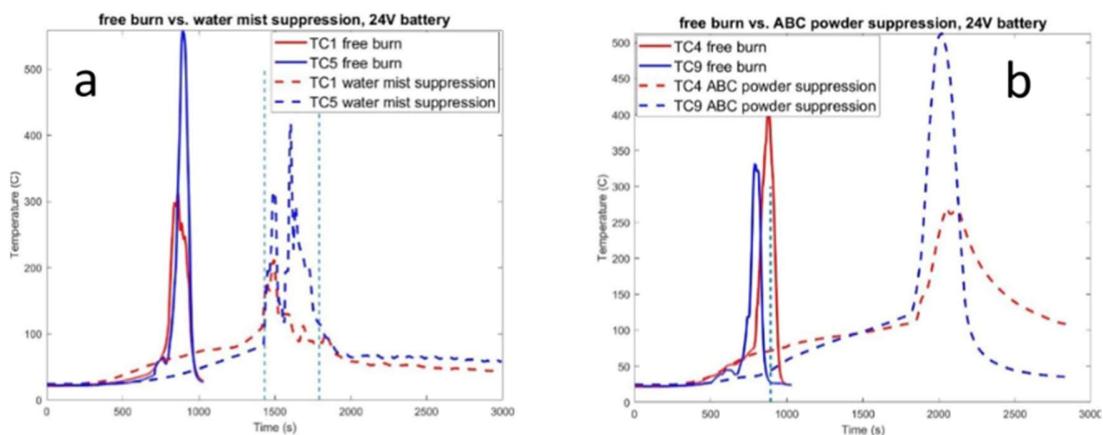
Ces tests contrôlés ont démontré que **l'extincteur chimique** de type D (NaCl) a très peu d'efficacité et ce, même sur une petite batterie 12 V. Contrairement à l'eau, l'extincteur chimique de type D (NaCl) ne parvient pas à refroidir la batterie. Les chercheurs du NIOSH ont même observer le **développement de température plus élevée** que son maximum atteint en la laissant brûler (free burn) (Trang et al. 2023 : 5-6).

Figure 15. Comparaison entre laisser brûler une batterie 12 V et l'éteindre avec un extincteur chimique de type D NaCl (Tang et al. 2023 : 5)



Pour sa part, l'extincteur en poudre de type ABC peut retarder le développement de la chaleur de la batterie aux ions de lithium de grande taille (24V) mais demeure moins efficace que l'eau. Il est à remarquer que, comme pour l'extincteur chimique de type D, les chercheurs du NIOSH ont même observer le **développement de température plus élevée** que son maximum atteint en la laissant brûler (free burn) (Trang et al. 2023 : 7).

Figure 16. Comparaison entre laisser brûler une batterie 24 V et éteindre avec de l'eau (A) et l'éteindre avec un extincteur en poudre (B) (Tang et al. 2023 : 6)



Cette expérience du NIOSH confirme donc que l'eau est pertinente et efficace sur un incendie de batterie ions de lithium. L'eau parvient à refroidir une batterie et, ainsi, à contrôler les risques, voire à empêcher, l'emballement thermique et, par conséquent, les risques de ré-ignition (Tang et al. 2023 : 7).

Les couvertures anti-feu pour véhicules électriques

Pour diminuer la propagation de l'incendie aux surfaces à proximité et pour réduire la température du véhicule en coupant l'oxygénation de l'incendie, une couverture anti-feu peut être appliquée sur le véhicule. Il existe plusieurs fabricants et distributeurs de ces couvertures anti-feu^{14,15}. Nous avons sélectionné ici la vidéo du fabricant Bridgehill, situé en Norvège, puisqu'elle est disponible en français¹⁶.

Figure 17. Une couverture anti-feu pour véhicule électrique Bridgehill



Source : <https://www.youtube.com/watch?v=lQvhbryZGX4>

Ces couvertures peuvent être une bonne option pour réduire les conséquences d'une ré-ignition lors du remorquage et de l'entreposage d'un véhicule électrique endommagé. Elles peuvent aussi permettre de diminuer la température du véhicule donc de réduire le temps d'intervention.

Relativement lourdes, ces couvertures anti-feu doivent être manipulées par une équipe d'au moins deux pompiers qui devront être à proximité du véhicule en flammes, ce qui augmente les risques pour les pompiers. De plus, l'application d'une couverture anti-feu ne diminue pas la température interne de la batterie et ne décharge pas la batterie.

Des risques de ré-emballage thermique et de ré-ignition demeurent présents. Par conséquent, des lectures régulières de la température par [caméra thermique](#) demeurent nécessaires.

¹⁴ Des informations sur un fabricant américain sont disponibles via : <https://www.youtube.com/watch?v=7QYtZN3QmjU&t=99s>

¹⁵ Des informations sur un distributeur canadien sont disponibles via : <https://safetysourcefire.ca/fr/produit/electric-vehicle-ev-fire-blanket/>

¹⁶ Des informations francophones sont également disponibles via : <https://larsenal.ca/product/cmp-mayer/equipements-de-securite-incendie/accessoires-cmp-mayer/couverture-ignifuge-pour-batterie-au-lithium-ion/>

Les lances perforatrices

Certains fabricants proposent des systèmes de lances perforatrices pour percer la batterie et, ainsi, pouvoir diriger un jet d'eau directement à l'intérieur du boîtier de batterie.

Cette manœuvre n'est pas sans risques. Le *Guide de l'instructeur du Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* (NPFA, 2014a :105) précise de ne pas toucher ni manipuler une batterie endommagée puisqu'il peut y avoir des décharges électriques et des contaminations par l'électrolyte. Rappelons que l'électrolyte est composé de substances chimiques corrosives, toxiques et inflammables qui peuvent être à une très chaude.

De plus, lors d'essais en laboratoire, Sharp et al. (2022) ont percé des cellules (piles) de batteries aux ions de lithium. Ce perçage augmente rapidement la pression et la température à l'intérieur de la batterie et endommage la cellule (pile). Il peut alors se produire un réchauffement suffisant pour provoquer un emballement thermique (Sharp et al. 2022 :10-11).

Face à ces risques, le refroidissement graduel avec de l'eau nous semble plus sécuritaire que le perçage de la batterie.

Les caissons de sécurisation des véhicules électriques

Des services de sécurité incendie européens, dont le Bataillon de Marseille, utilisent des caissons d'immersion pour sécuriser les véhicules électriques. Behm¹⁷ est un des constructeurs de ces caissons nommés cellule d'extinction de véhicule électrique.

Le rapport d'investigation exploratoire du National Highway Traffic Safety Administration NHTSA du U.S. Department of transportation (2021) ne peut pas conclure à une réelle pertinence de ces immersions. En effet, bien qu'aucune batterie testée n'ait présenté visuellement de difficulté pendant l'immersion, l'immersion a provoqué des intrusions d'eau dans les batteries et des signes de corrosion et de dégradation sont visibles lorsque la batterie est retirée de l'eau (NHTSA 2021 : 20-22). De plus, l'eau ne parvient pas à décharger entièrement les batteries et deux batteries ont eu des re-ignitions après l'immersion (NHTSA 2021 : 23).

¹⁷ Informations issues de : <https://www.behm.fr/fr/>

Figure 18. Un caisson d'immersion



Source : <https://www.youtube.com/watch?v=i-pAndfEwQM>

Outre les caissons d'immersion, les pompiers de Monaco détiennent des caissons d'isolation des véhicules électriques dotés de divers systèmes de sécurisation : couvertures anti-feu, systèmes d'extinctions en poudre, systèmes de vérifications de la température, etc.

Ces caissons peuvent certainement réduire les conséquences de ré-ignition d'un véhicule électrique endommagé et rendre son transport et son entreposage plus sécuritaire. Par contre, le risque de ré-ignition de la batterie demeure tant que l'énergie de toutes les cellules (piles) de la batterie ne sera pas déchargée.

Figure 19. Caisson de sécurisation des pompiers de Monaco



Source : <https://www.youtube.com/watch?v=ZkfEGXBW6A>

Le brûlage sécurisé pour décharger la batterie au maximum

En Australie, le EV FireSafe, recommande le refroidissement de la batterie aux ions de lithium par l'application d'eau. L'immersion du véhicule électrique leur apparaît aussi une solution pour limiter le ré-ignition lors de l'entreposage d'un véhicule endommagé.

Une autre méthode d'intervention a été recensée par le EV Fire Safe. **Lorsque le contexte est sécuritaire, laisser brûler** la batterie aux ions de lithium permettrait de consumer l'énergie contenue dans les piles de la batterie ce qui réduira le risque de ré-ignition. Cette méthode a été utilisée par les pompiers de Berlin le 22 avril 2022¹⁸.

Le Manuel de l'apprenant *Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible* NFPA (2014c : 69) propose aussi qu' « *Il peut être préférable de laisser l'incendie de batterie s'éteindre de lui-même* ».

Outre la nécessité de bien sécuriser la scène pour assurer la sécurité des intervenants, des citoyens et des bâtiments environnants, cette méthode a des désavantages. Premièrement, il est difficile de prévoir le temps nécessaire : l'état de la charge de la batterie, la température ambiante et d'autres facteurs pourraient influencer l'ignition de la batterie. Deuxièmement, il y a des risques pour la qualité de l'air. Finalement, la perception du public pourrait être négative puisque les pompiers n'interviennent pas pour éteindre l'incendie.

Figure 20. EV FireSave. Lorsque le contexte est sécuritaire, laisser brûler la batterie peut être une option

EV battery fire suppression - burn

Allow the lithium-ion battery pack to burn itself out, hot & fast.

Pros:

- Recommended by some EV manufacturers
- Burns through majority of live cells, leaving scrap metal
- Removes stranded energy & secondary ignition risk

Cons:

- Time to burn will depend on battery size, state of charge, ambient temperature & other factors
- Air quality risks - monitoring & warnings for surrounding exposures
- Public / media attention; 'why aren't firefighters DOING something?'

Case study:

An EV went into thermal runaway while fast charging. The fire department opted to let the battery burn out. It was flipped onto its side for easier monitoring with a thermal imaging camera. Time taken to burn is unknown. 22nd April 2022, Berlin, Germany.



Source : <https://www.evfiresafe.com/ev-fire-suppression-methods>

¹⁸ Information issue de : <https://www.evfiresafe.com/ev-fire-suppression-methods>

Assurer une veille et diffuser des savoirs scientifiques pour accroître l'adaptabilité

Comme nous l'avons constaté dans la section *Contexte*, les batteries aux ions de lithium sont une technologie commune mais encore en développement. Dans ce contexte d'innovation, de nouveaux types des batteries aux ions de lithium pourraient voir le jour ; pensons ici aux batteries aux ions de lithium solides (Benabed 2023, Daigle, 2018, Mauger et al. 2017) déjà commercialisées par le fabricant d'automobiles chinois NIO¹⁹.

- Est-ce que les batteries aux ions de lithium solides engendreront les mêmes risques d'emballage thermique ?
- Est-ce que l'amélioration de la fabrication des cellules (piles) et la transformation des composants chimiques des électrolytes transformeront les comportements du feu ?

En contexte d'innovation, il est impossible de prévoir les réponses.

La seule option ici est de demeurer à l'affût des développements des savoirs scientifiques et des innovations des constructeurs de véhicules électriques et de batteries aux ions de lithium. Les membres de la Table provinciale sur les véhicules électriques font donc la recommandation d'assurer une veille et de diffuser des savoirs scientifiques pour accroître l'adaptabilité des interventions incendies.

Évaluer les retombées des actions par des statistiques longitudinales sur l'ensemble du territoire québécois

Comme nous l'avons constaté dans la section *Contexte*, le Québec dispose de statistiques sur la vente de véhicules électriques. Cependant, le Québec n'a pas de statistique publique sur les incendies de véhicules électriques ni sur les incendies impliquant des batteries aux ions de lithium.

Afin de mieux connaître les interventions de services de sécurité incendie du Québec en matière de véhicules électriques et d'incendies qui prennent origine dans des batteries, des statistiques longitudinales sur l'ensemble du territoire québécois sont nécessaires.

De plus, ces statistiques permettraient de suivre l'impact des mesures préventives sur le nombre d'incendies de véhicules électriques et impliquant des batteries aux ions de lithium.

En ce sens, et pendant les travaux de la Table, le ministère de la Sécurité publique MSP a su élaborer de premières statistiques préliminaires. Ces premières statistiques ont été présentées aux membres de la Table lors de la rencontre du 22 février 2024. Tous les membres de la Table ont été unanimes : de telles statistiques sont indispensables pour connaître la fréquence et la

¹⁹ Les informations sur ce constructeur automobile sont disponibles via : <https://www.nio.com/>

nature des incendies de véhicules électriques et pouvoir y répondre efficacement sur tout le territoire québécois.

La Table provinciale sur les véhicules électriques propose donc de poursuivre le développement et la diffusion de statistiques sur les incendies de véhicules électriques et de batteries aux ions de lithium et de les inclure dans les données compilées annuellement et diffusées par MSP.

CONCLUSION

Le 15 mai 2023, une Table provinciale sur les véhicules électriques a été créée. Le mandat de cette Table provinciale est :

Recueillir les informations pertinentes entourant l'utilisation de l'électricité pour les véhicules et autres équipements, les principes d'accumulation de l'énergie, les risques de défaillance et d'incendie, les risques chimiques et les risques d'électrocution.

Coordonnée par l'École nationale des pompiers du Québec, la Table a tenue 6 rencontres et regroupée une quinzaine de partenaires du milieu de la sécurité incendie.

Les observations de la Table ont porté sur 4 axes : la prévention des incendies liés aux batteries aux ions de lithium, la formation au combat d'incendie impliquant des batteries aux ions de lithium, la veille et la diffusion d'informations scientifiques, le développement et la diffusion de statistiques sur les incendies de véhicules électriques.

La Table conclut, notamment, que les incendies de batteries de lithium-ion comportent des risques spécifiques dont : des emballements thermiques rapides, des explosions de gaz, des températures élevées (CNRC 2021 : 39, Goupil 2021, Ji et al. 2022, Li et al. 2022, NTSB 2020 : 55-56) et des risques de ré-ignition après la première extinction (CNRC, 2021 : 36, NHTSA, 2021 : 23, NFPA, 2014a : 109, NFPA 2014b : 18, NTSB, 2020 : 58).

Seul le refroidissement de la batterie aux ions de lithium peut permettre de mettre fin à l'emballement thermique. L'eau est un outil efficace pour refroidir une batterie aux ions de lithium. L'eau appliquée en jet brouillard directement sur le boîtier étanche de la batterie donnera les meilleurs résultats (Ji et al., 2022:1238). Pour faciliter cette application d'eau, le véhicule peut être légèrement incliné sur le côté. Le volume d'eau à appliquer sera très variable en fonction de la grosseur de la batterie, de la température interne de la batterie et de l'état de charge (NFPA, 2014a : 108, NTSB, 2020 : 54).

Il est fortement recommandé d'utiliser une caméra thermique pour mesurer la température de la batterie et ce, même après la fin de la première ignition (CNRC, 2021 : 41, NFPA, 2014a : 109 et NTSB 2020 : 55).

D'autres outils d'interventions peuvent contribuer au combat d'incendies de véhicules électriques dont : des têtes de lances adaptées pour faciliter l'orientation du jet de lance sous le véhicule et une couverture anti-feu pour réduire les risques de propagation de l'incendie aux surfaces avoisinantes et sécuriser le véhicule endommagé pendant son transport. Pour réduire les risques liés à la ré-ignition des batteries de véhicules électriques, l'entreposage loin de toute surface inflammable est fortement recommandé. La distance minimale recommandée par le NFPA est de 50 pi (15 m) (NFPA 2014b : 18).

En terminant, l'École nationale des pompiers du Québec tient à remercier tous ceux et celles qui ont rendu possibles les travaux de la Table provinciale sur les véhicules électriques.

RECOMMANDATIONS

1. Afin de réduire les risques d'incendie impliquant des véhicules électriques et des batteries aux ions de lithium, diffusez des informations préventives sur les risques liés à leur recharge, leur entreposage, leur réparation et leur disposition en fin de vie.
2. Afin d'assurer la sécurité des pompiers, diffusez des formations en matière d'intervention incendie et d'accidents routiers impliquant des véhicules électriques, incluant les meilleures pratiques d'extinction et de désincarcération.
3. Afin d'assurer l'adaptabilité nécessaire en contexte d'innovation technologique, assurer la veille et la diffusion de recherches scientifiques sur les batteries aux ions de lithium, les pratiques de combat incendie et le comportement du feu lors d'incendies impliquant ces batteries.
4. Afin d'assurer une évaluation longitudinale des actions entreprises, développer et diffuser des statistiques sur les incendies de véhicules électriques et de batteries aux ions de lithium et les inclure dans les données compilées annuellement et diffusées par le ministère de la Sécurité publique MSP.

BIBLIOGRAPHIE

Références gouvernementales

Gouvernement du Canada, Règlement sur le transport des marchandises dangereuses, DORS 2001-286

<https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/index.html>

Gouvernement du Québec (2023). *Plan pour une économie verte 2030. Plan de mise en œuvre 2023-2028*. Gouvernement du Québec.

<https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-mise-oeuvre-2023-2028.pdf>

Gouvernement du Québec (2018). *Transporter le Québec vers la modernité. Politique de mobilité durable – 2030*, Gouvernement du Québec, ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports.

https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/transports/ministere-des-transports/publications-amd/Plan_de_mobilite_durable/PO_politique-mobilite-durable_MTMDDET.pdf

Gouvernement du Québec (2015). *Propulser le Québec par l'électricité. Plan d'action en électrification des transports 2015-2020*, Gouvernement du Québec, ministère des Transports du Québec.

<https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2950302>

Gouvernement du Québec (2000) *Loi sur la sécurité incendie*, L.R.Q, S-3.04.

<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/lc/S-3.4.pdf>

Gouvernement du Québec, Électrification des transports

<https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/electrification-des-transports#:~:text=L'objectif%20de%20%20000,25%20%25%20des%20camionnettes.>

Gouvernement du Québec, Programme roulez vert

<https://www.quebec.ca/transports/transport-electrique/aide-financiere-vehicule-electrique/programme-roulez-vert>

Ministère de la Sécurité publique (2023). *Plan stratégique 2023-2027*, Gouvernement du Québec ministère de la Sécurité publique.

https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/securite-publique/publications-adm/plan-strategique/PL_strategique_MSP_2023-2027.pdf

Recyc-Québec (2019). Piles et batteries. Fiche informative. Recyc-Québec

<https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-piles.pdf>

Références scientifiques

Arvidson, M., Westlund O. (2023). Water Spray Fire Suppression Tests Comparing Gasoline-Fuelled and battery Electric Vehicles. *Fire Technology*, 59 : 3391-3414.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-023-01473-w>

Benabed, Y. (2023). *Using Experiment and First-Principles to Explore the Stability of Solid Electrolytes for All-Solid-State Lithium Batteries*, Mémoire. Département de chimie, Université de Montréal, Québec. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/28312>

Conseil national de recherches Canada CNRC (2023). Technical Report. *Risk Assessment of Hydrogen and Battery Power in Locomotives – Part 2 – Risks and Hazards Assessment*. Ottawa, Gouvernement du Canada.

<https://tc.canada.ca/en/innovation-centre/priority-reports/risk-assessment-hydrogen-battery-power-locomotives-part-2-risks-hazards-assessment>

Conseil national de recherches Canada CNRC (2021). *La sécurité des batteries au lithium ionique : utilisation, stockage et élimination*. Ottawa, Gouvernement du Canada.

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/td/?id=4a279238-35a8-4d71-bae0-0f783ed9f849>

Daigle J.C., Arnold A.A., Zhaghib K. (2018). Solid-State NMR Study of New Copolymers as Solid Polymer Electrolytes *Magnetochemistry*, 4(13)

<https://www.mdpi.com/2312-7481/4/1/13>

EV FireSafe (2021) *Free volunteer emergency brigades training pack*.

<https://www.evfiresafe.com/ev-fire-training-resources>

EV FireSafe (June 2023). Passenger EV LIB Fire Incidents. Global, as of 30th June 2023.

https://www.evfiresafe.com/files/ugd/8b9ad1_01aa449ee5074086a55cb42aa7603f40.pdf

Gavryliuk A., Yakovchuk Roman, et al. (2023) Determination of Fire Protection Distances During a Tesla Model S Fire in a Closed Parking Lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 10(122) : 39-46.

<https://journals.uran.ua/eejet/article/view/277999>

Goupil V. (2021). *Analysis and Modelling of Li-Ion Cells Degassing and Combustion under Thermal Runaway*, Mémoire de maîtrise, Département de génie mécanique, Polytechnique Montréal, Québec.

https://publications.polymtl.ca/10009/1/2021_VincentGoupil.pdf

International Fire Service Training Association IFSTA (2022). *Manuel de lutte contre l'incendie et d'intervention en matières dangereuses. Édition 7*. Oklahoma, Fire Protection Publications.

Traduction française de l'École nationale des pompiers du Québec.

Ji C., Liu Y., Qui P., Z. Zhang Z. & S. Zhang (2022). Simulation Investigation of Water Spray on Suppressing Lithium-Ion Battery Fires, *Fire Technology*, 59: 1221-1246.

Lett K., Sheridan M.B., Fitzgerald K., Newman C. (2021). *An Analysis of Lithium-ion Battery Fires in Waste Management and Recycling*, Office of Resource Conservation and Recovery, United States Environmental Protection Agency US EPA

https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-08/lithium-ion-battery-report-update-7.01_508.pdf

Li Z., Fu Y., Liu A., Li X., Chen G., Qin P. (2022). An Experimental Study on Fire Suppression Devices for Power Batteries of Hybrid Electric Multiple Units, *Fire Technology*, 59: 1303-1318.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-022-01351-x>

Mauger A., Julien C.M., Armand M., Goofenough J.B., Zaghbi K. (2017). Li(Ni,Co)PO₄ as cathode materials for lithium batteries: Will the dream come true?, *Current Opinion in Electrochemistry*, 6(1) : 63-69.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451910317300911>

National Fire Protection Association NFPA (2014a). *Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible. Guide de l'instructeur*. Version 2.1.

Traduction française de l'École nationale des pompiers du Québec.

National Fire Protection Association NFPA (2014b). *Guide d'urgence pour les véhicules électriques et hybrides*. Version 2.1. Traduction française de l'École nationale des pompiers du Québec.

National Fire Protection Association NFPA (2014c). *Programme de formation sur la sécurité des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible. Manuel de l'apprenant*. Version 2.1.

Traduction française de l'École nationale des pompiers du Québec.

National highway Traffic Safety Administration NHTSA (2021). *Li-Ion Battery Pack Immersion Exploratory Investigation*. U.S. Department of Transportation.

<https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/57013>

National transportation Safety Board NTSB (2020). *Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles*, NTSB, Washington.

https://www-ntsb.gov.translate.google/safety/safety-studies/Pages/HWY19SP002.aspx? x tr sl=en& x tr tl=fr& x tr hl=fr& x tr_pto=sc

Sharp, M. al. (2022). Thermal runaway of Li-Ion cells: How internal dynamics, Mass, Ejection, and heat vary with cell geometry and abuse type, *Journal of The Electrochemical Society*, 169.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ac4fef/meta>

Tang W., Yuang L., Thomas R., Soles J. (2023). Comparison of Fire Suppression Techniques on Lithium-Ion Battery Pack Fires. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 1-7.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s42461-023-00765-7>

Sites web, audios et vidéos

98.5FM. Savez-vous comment on éteint un incendie impliquant un véhicule électrique ?

<https://www.985fm.ca/audio/602634/savez-vous-comment-on-eteint-un-incendie-impliquant-un-vehicule-electrique>

Association des gestionnaires en sécurité incendie et civile du Québec

<https://www.acsiq.qc.ca/cms/publications/projets-prevention#:~:text=Projets%20intermunicipaux%202023,nationale%20de%20pr%C3%A9vention%20des%20incendies.>

Association des véhicules électriques du Québec

<https://www.aveq.ca/meacutedias--stats.html>

AVD Fire Extinguisher Solution – Car Battery Fire Blanket

<https://www.youtube.com/watch?v=dDwqinGoCpl&t=9s>

AVD Fire Extinguisher Solution – Demonstration of an AVD car blanket

<https://www.youtube.com/watch?v=bPxPu7fX9Lg>

Behm

<https://www.behm.fr/fr/>

Behm et Marins-pompiers de Marseille. Cellule extinction de feux de véhicules électriques

<https://www.youtube.com/watch?v=i-pAndfEwQM>

Bridgehill

<https://bridgehill.com/>

Bridgehill, Couverture anti-feu pour voiture

<https://www.youtube.com/watch?v=IQvhbryZGX4>

Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie, Hydro-Québec

<https://www.hydroquebec.com/ce-electrification-transports-stockage-energie/>

Delainey Laurence, Trotinettes, vélos, scooters: hausse « exponentielle » des feux de batteries, Journal de Montréal, 18 avril 2024.

<https://www.journaldemontreal.com/2024/04/18/hausse-exponentielle-des-feux-de-moyens-de-transport-electrique-a-montreal>

EV FireSave. 04.9 Suppression methods

<https://www.evfiresafe.com/ev-fire-suppression-methods>

EV FireSafe. Electric vehicle high voltage battery pack fire basics for emergency responders

<https://www.youtube.com/watch?v=52mfE2w9t1c>

EV FireSafe. What is a thermal runaway? Electric vehicle fires explained!

https://www.youtube.com/watch?v=M9Cl6_Y2rXU

EV FireSafe. Can EV's catch fire twice?

<https://www.youtube.com/watch?v=MxBK5FukqdE>

Fire Department, City of New York FDNY, Lithium-ion Batteries Safety

<https://www.nyc.gov/site/fdny/codes/reference/lithium-ion-battery-safety.page>

Fire Department, City of New York FDNY, Youtube Channel

<https://www.youtube.com/@OfficialFDNY>

Fire Department, City of New York FDNY, Important Safety Tips for Lithium-ion Batteries

<https://www.youtube.com/watch?v=smUT-5cNu8Y>

Fire Safety Research Institute FSRI-UL, 2022a e-Mobily Device Experiments

<https://fsri.org/research/examining-fire-safety-hazards-lithium-ion-battery-powered-e-mobility-devices-homes>

Fire Safety Research Institute FSRI-UL, 2023 Take C.H.A.R.G.E. of Battery Safety PSA

<https://www.youtube.com/watch?v=7UEv8WWn4Tk>

Fire Safety Research Institute FSRI-UL, 2022b ESS Garage Experiments

<https://vimeo.com/809188361/0ae17d43f8>

Fire Cloak USA, VE Fire blanket

<https://www.youtube.com/watch?v=7QYtZN3QmjU&t=99s>

MonacoInfo. Sécurité : Arrivée d'un caisson révolutionnaire en principauté

<https://www.youtube.com/watch?v=ZkfEGXBIW6A>

National Fire Protection Association NFPA

<https://www.nfpa.org/EV>

NIO <https://www.nio.com/>

NTSBgov. Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles - Safety Risks to Emergency Responders

<https://www.youtube.com/watch?v=J6eS6JzBn0k>

Radio-Canada. Découverte. Des feux de batteries lithium-ion intenses

<https://ici.radio-canada.ca/tele/decouverte/site/episodes/808178/feux-verglas-abeilles-chats-parkinson#:~:text=L'intensit%C3%A9%20et%20la%20soudainet%C3%A9,routes%20et%20dans%20notre%20environnement.&text=les%20pratiques%20d'%C3%A9lagage%20des%20arbres.>

Rosenbauer Battery Extinguishing System Technology BEST

<https://youtu.be/xalAb3XgYVY?si=621tYvaZiGWAh-d6>

Safety Source Fire. Electric vehicle ev fire blanket

<https://safetysourcefire.ca/fr/produit/electric-vehicle-ev-fire-blanket/>

Santé Canada. Sécurité des piles : Piles au lithium-ion

<https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/produits-menagers/securite-piles/lithium-ion.html>

Service de sécurité incendie de la Ville de Laval. Équipements électriques et électroniques

<https://www.laval.ca/Pages/Fr/Citoyens/equipements-electriques-electroniques.aspx>

Service de sécurité incendie de la Ville de Montréal. Les risques liés à l'utilisation des outils technologiques.

<https://ville.montreal.qc.ca/sim/les-risques-lies-lutilisation-des-outils-technologiques>

Service de sécurité incendie de la Ville de Québec. Conseils de prévention. Batterie au lithium-ion

<https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/incendie/prevention/conseils/conseils-batterie-au-lithium.aspx>

Task Force Tips – Firefighter Equipment EV Nozzle

<https://www.youtube.com/watch?v=n2yHZsFp0Mc>

Task Force Tips – What is the Transformer EV Nozzle System?

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

Zico Ziamatic Corp. Vehicule colling unit

<https://www.ziamatic.com/product/vehicle-cooling-units/>