

**Comment créer
des espaces de
stationnement et de
recharge pour véhicules
électriques à l'abri du feu ?**





COMMENT CRÉER DES ESPACES DE STATIONNEMENT ET DE RECHARGE POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES À L'ABRI DU FEU ?

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction | 4 |
| Les batteries lithium-ion et risques d'incendie | 6 |
| Scénarios d'incendie | 10 |
| Mesures | 11 |
| Conclusion | 16 |

INTRODUCTION

De plus en plus de véhicules électriques font leur apparition dans nos rues. Pensez aux vélos (cyclomoteurs), scooters, voitures, bus et camionnettes électriques. Un permis de construire ou d'exploitation est même exigé pour les bornes de recharge électrique¹.

Ces véhicules électriques sont garés et rechargés à différents endroits : dans les parkings publics, les parkings souterrains, les zones de parking des immeubles, ...

De part leur nature, les batteries représentent un risque d'incendie accru. En effet, dans presque tous les cas, les véhicules électriques utilisent des batteries lithium-ion. Les cellules internes des batteries sont composées d'éléments chimiques combustibles, ce qui les rend très difficiles à éteindre. Les batteries continueront à s'enflammer spontanément à plusieurs reprises, même si elles semblent éteintes. L'incendie se développera également plus rapidement et pourra être beaucoup plus grave. De plus, des particules incandescentes sont projetées aux alentours pouvant provoquer la propagation rapide du feu (voir figure 1).



Fig 1 : Deux voitures électriques en feu à Paris en 2016. Notez les particules de flammes volantes
© afp. source: https://www.standaard.be/cnt/dmf20210427_94686337

¹Voir entre autres l'arrêté du 25/02/2021 du Gouvernement de Bruxelles-Capitale, fixant les conditions générales et particulières d'exploitation applicables aux parkings.

Nul doute qu'en tant que responsable, gestionnaire, propriétaire ou locataire, vous souhaitez protéger votre bâtiment et les personnes qui s'y trouvent d'un grave incendie qui pourrait être provoqué par des véhicules électriques. Les parkings souterrains nécessitent une attention particulière à cet égard, étant donné leur accessibilité plus difficile pour les services d'urgence.

Par conséquent des mesures supplémentaires doivent être prises. Cela s'applique tant aux bâtiments existants qu'aux nouveaux bâtiments. La réglementation actuelle en matière de sécurité incendie porte sur le stationnement des véhicules à moteur à combustion traditionnel, qui présentent un risque d'incendie plus faible. Les mesures de prévention en place sont donc insuffisantes pour les risques d'incendie spécifiques aux véhicules électriques.

Malheureusement, aucune mesure générale de prévention claire n'a encore été fixée dans la législation. Les régions, les zones locales des services d'incendie et les assureurs ont chacun leur propre réglementation. Néanmoins, un certain nombre de mesures de prévention peuvent certainement être prises. Nous les examinerons plus en détail dans les paragraphes suivants.

LES BATTERIES LITHIUM-ION ET RISQUES D'INCENDIE

Afin de comprendre le comportement au feu des véhicules électriques et de définir des mesures, il faut d'abord examiner la composition des packs de batteries lithium-ion.

Comme toutes les batteries rechargeables, les cellules d'une batterie lithium-ion sont constituées d'une anode, d'une cathode et d'un électrolyte. Un isolant électrique (séparateur) se trouve entre l'anode et la cathode. Ce séparateur empêche les courts-circuits internes.

En fonctionnement, des électrons ("courant") circulent à l'extérieur de la batterie, de l'anode positive à la cathode négative. Les ions de lithium (Li^+) circulent également dans la même direction dans l'électrolyte et le séparateur à l'intérieur de la batterie. Pendant la charge, c'est la réaction inverse qui se produit (voir figure 2).

La plupart des batteries lithium-ion utilisent un électrolyte liquide. Parfois, le liquide est remplacé par un gel. Ces batteries sont appelées batteries lithium-ion polymère (LiPo). Actuellement, des recherches sont également menées sur l'utilisation d'un électrolyte solide.

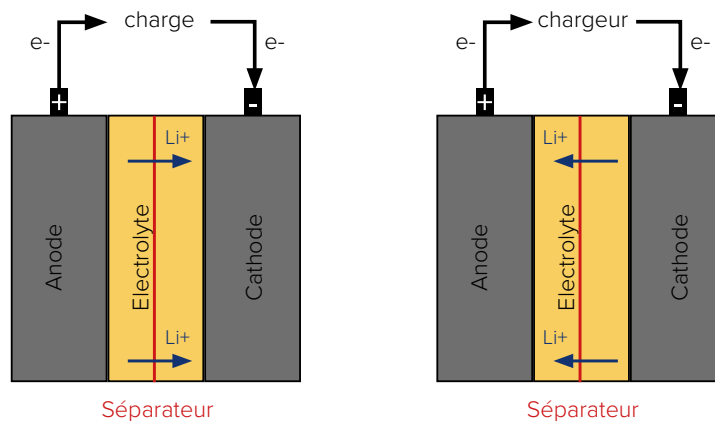


Fig. 2 : Composition et fonctionnement d'une batterie lithium-ion pendant l'utilisation et la charge, respectives.

Il existe différents types de batteries lithium-ion, chacune ayant sa propre dénomination et composition chimique donnant des performances différentes. L'anode d'une batterie lithium-ion est généralement constituée de graphite. Cependant, un autre matériau est parfois utilisé, comme le titane dans les batteries LTO.

La plus grande différence entre les différents types de batteries lithium-ion réside dans la composition chimique de la cathode.

Chaque type de batterie a une capacité énergétique, puissance et durée de vie spécifiques, ce qui leur permet de s'adapter à des applications particulières (voir tableau 1).

| Dénomination de la batterie | Composition chimique Nom (formule) | Applications |
|-----------------------------|---|---|
| LCO | Lithium Cobalt Oxyde (LiCoO ₂) | Petit électro (GSM, ordinateur portable, camera...) |
| LMO | Lithium Manganèse Oxyde (LiMn ₂ O ₄) | Outillages |
| LFP | Lithium Fer Phosphate (LiFePO ₄) | Outillages, vélos, élevateurs à fourches |
| NMC | lithium nikkél mangaan kobaltoxide (LiNiMnCoO ₂) | Véhicules électriques |
| NCA | Lithium Nickel Manganèse Cobalt (LiNiCoAlO ₂) | Véhicules électriques (ex:Tesla) |
| LTO | Lithium Titanate oxyde (Li ₂ TiO ₃) | Train électrique |

Tableau 1 : Types de batteries lithium-ion, leur composition et exemples d'applications

Les batteries lithium-ion sont constituées de différentes cellules et peuvent se présenter sous différentes formes : cylindrique, rectangulaire... Différentes batteries reliées entre elles forment des packs de batteries. La figure 3 montre des exemples de packs de batteries pour certains véhicules électriques.

Il va de soi que la taille du pack de batteries et la composition chimique de la batterie ont une influence sur le risque d'incendie. En particulier sur respectivement la charge combustible et la température d'inflammation. Par exemple, la température d'inflammation peut varier de quelques dizaines de degrés à plusieurs centaines de degrés, selon le type de batterie lithium-ion.

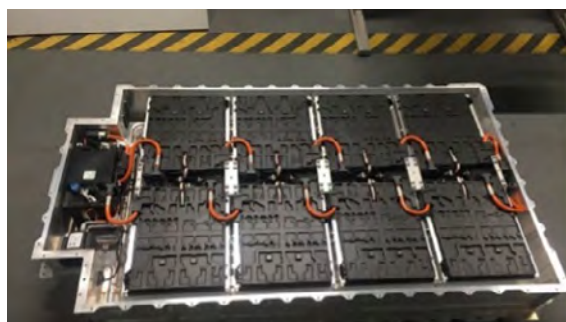
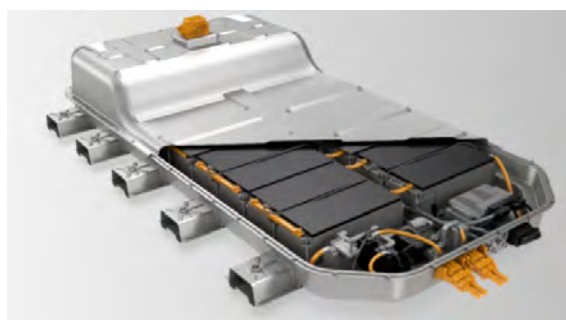


Fig. 3 : Exemples de packs de batteries pour véhicules électriques

Les risques d'incendie dépendent également du type et de l'emplacement des véhicules électriques. La charge combustible d'une batterie d'un scooter électrique est bien sûr beaucoup plus faible que celle d'une batterie d'une voiture électrique. Mais que se passe-t-il si ce scooter se trouve dans un hangar avec d'autres produits inflammables ?

Et si des voitures électriques étaient garées côte à côte ? Que faire si des voies d'évacuation se trouvent près des emplacements de charge ? Les risques spécifiques sont donc différents dans chaque situation et doivent être examinés au cas par cas. Toutefois, les batteries des véhicules électriques, quelles que soient leur taille et leur composition, présentent également certains risques standards :

- - **Gaz toxiques, inflammables et explosifs** : la surchauffe des batteries lithium-ion libère divers gaz toxiques, tels que le fluorure d'hydrogène et l'(hydr)oxyde de lithium (voir la figure 4). Ces gaz sont nocifs pour l'homme s'ils entrent en contact avec la peau ou sont inhalés. Une étincelle ou une chaleur suffisante enflammera ces gaz et provoquera des flammes élevées. Lorsqu'ils s'accumulent, ces gaz peuvent conduire à une explosion. Pendant le processus d'extinction, dilués avec l'eau, ils peuvent s'infiltrer dans le sol et causer des dégâts à l'environnement.
- **"Thermal runaway ou emballement thermique"** : La surchauffe d'un seul élément de batterie entraîne une réaction en chaîne exothermique appelée "emballement thermique" (figure 5). La réaction thermique et le dégagement de chaleur d'une seule cellule sont suffisants pour chauffer les autres cellules de la batterie au point de provoquer une réaction en chaîne. Au final, toutes les cellules prendront feu (figure 6).



Fig. 4 : Dégagement de gaz d'une petite batterie lithium-ion

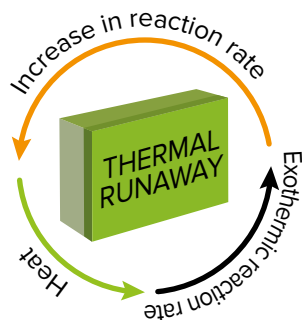


Fig. 5 : Déroulement du "thermal runaway"



Fig. 6 : "Thermal runaway" d'une petite batterie

- **Longue durée de combustion** : une fois lancé, l'emballement thermique est pratiquement impossible à arrêter. Le processus chimique peut durer des heures, voire des jours, et aboutir à une nouvelle combustion spontanée.

- **Augmentation rapide de la température :** les températures augmentent plus rapidement que lors d'un incendie classique en raison de l'emballement thermique rapide et des nombreuses cellules impliquées dans l'incendie (voir figure 7).
- **Températures plus élevées :** les températures peuvent augmenter pendant un incendie. Les tests montrent que des températures maximales de 675 à 1511°C sont mesurées sur le boîtier d'une batterie lithium-ion². Toutefois, ces températures dépendent de la puissance et du type de batterie.

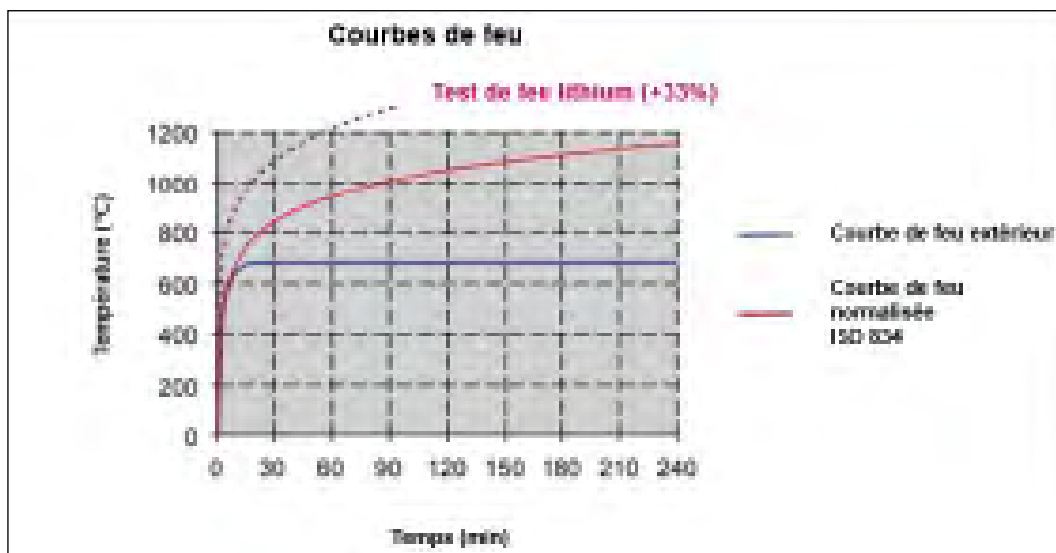


Fig. 7 : indication de l'écoulement du temps et des températures maximales d'un feu lithium-ion par rapport à un feu normalisé

² Fire Protection Research Foundation (juin 2013). Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results. Consulté par <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Electrical/Emergency-Response-to-Incident-Involving-Electric-Vehicle-Battery-Hazards>

SCÉNARIOS D'INCENDIE

En général, il y a trois scénarios à prendre en compte pour obtenir un environnement sûr pour les véhicules électriques et leurs stations de charge.

1. Un **incendie extérieur** à proximité du véhicule électrique, par exemple dû à l'incendie d'un véhicule voisin. Dans ce cas, il est important d'empêcher le feu de se propager au véhicule électrique afin d'éviter un emballement thermique et une augmentation de la charge combustible dû au véhicule électrique.
2. Un **incendie spontané** du véhicule électrique. Cela peut être dû à un défaut de fabrication ou à un court-circuit interne dans la batterie. Ce risque augmente avec la durée d'utilisation du véhicule électrique. En effet, l'usure des batteries et le risque de détériorations augmentent. En cas d'incendie spontané, le risque de propagation du feu est élevé en raison des particules incandescentes volantes et du rayonnement thermique du véhicule électrique. Il faut donc essayer d'éviter la présence de plusieurs véhicules ou de matériaux combustibles à proximité du véhicule électrique en feu. Ceci afin de limiter la charge combustible déjà plus élevée causée par le véhicule électrique en feu. Une attention particulière doit être accordée à la stabilité et au compartimentage du bâtiment en raison des températures potentiellement plus élevées et des longues durées de combustion des véhicules électriques.
3. Un **incendie** du véhicule électrique pendant la charge. Cela peut être dû à l'utilisation d'une installation de charge inadaptée ou mal mise en œuvre, à l'utilisation de câbles de charge inadaptés ou endommagés, à une décharge trop profonde ou à une surcharge de la batterie lithium-ion. Les tests montrent qu'une surcharge de 45 à 70 secondes est suffisante pour enflammer une cellule d'une batterie lithium-ion et déclencher l'emballement thermique³. Pour les mêmes raisons que pour un incendie spontané, il faut éviter la propagation du feu dans ce cas également.

³ Stephan Klüh (2020). Fire Safety of Lithium-Ion Traction Batteries. Consulté par https://www.ri.se/sites/default/files/2020-12/Klueh2020_Fire_Safety_of_Lithium-Ion_Traction_Batteries.pdf

MESURES

Étant donné que l'emballement thermique est très difficile à arrêter et que l'incendie d'un véhicule électrique peut être très dommageable pour son environnement, il convient de l'éviter dès le départ. Nous devons donc tout faire pour que le véhicule électrique ne soit pas impliqué dans un incendie. Il existe plusieurs possibilités :

- Prévoyez un **espace de stationnement « au frais »** : plus la température ambiante est basse, moins l'emballement thermique risque de se produire rapidement.
- **Évitez les obstacles hauts et pointus**, au niveau du sol. Les blocs de batteries sont généralement situés dans la partie inférieure du véhicule (voir Figure 8.). Bien que les batteries soient bien protégées par des boîtiers, tout impact supplémentaire peut endommager mécaniquement la batterie, provoquant un court-circuit interne et un emballement thermique.



Fig. 8 : emplacement typique d'un pack de batterie dans un véhicule électrique
Source: <https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/elektrische-autos/accus-techniek-en-kosten>

- **Prévention de la surcharge**. Il est important d'utiliser la bonne installation de charge en fonction du type de véhicule et de batterie. La charge doit être arrêtée à temps, selon le type de batterie. Cette valeur est également nommée "charge cutoff voltage" (voir tableau 2). Il faut également utiliser des câbles électriques adéquats et non endommagés. Choisissez donc la bonne installation de charge et fournissez les instructions nécessaires aux utilisateurs.

| Type de batteries lithium-ion | LCO | LMO | NMC | LFP | NCA |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Charge cutoff voltage | 4,2 V | 4,2 V | 4,2 V | 3,6 V | 4,2 V |

Tableau 2 : charge cutoff voltage typique par cellule et par type de batteries lithium-ion

- **Conformité du dispositif de charge** : l'installation de charge doit être conforme aux exigences de l'arrêté royal du 08/09/2019 - livre 1, installations électriques à basse tension et à très basse tension ainsi qu'aux prescriptions du fabricant. Un contrôle de conformité avant la mise en service ainsi que des contrôles périodiques doivent être effectués.

- **Arrêt d'urgence du système de charge** en cas de catastrophe, par exemple par une commande via le système de détection d'incendie et/ou par une action sur un bouton d'arrêt d'urgence. Cela réduit le risque d'une augmentation de la température et ensuite d'emballement thermique.
- Fournir **une protection adéquate contre les chocs** autour des stations de charge.
- **Compartmentage** en plaçant chaque véhicule électrique dans un compartiment séparé présentant la résistance au feu nécessaire. Cela peut se faire en construisant des murs coupe-feu, mais aussi en installant des rideaux (à enroulement) résistants au feu. Il est possible de placer plusieurs véhicules dans un même compartiment, si la structure et la stabilité du bâtiment le permettent.
- Laissez **une distance suffisante autour du véhicule électrique**, pour éviter qu'un incendie ne se répande. Par exemple, en mettant hors d'usage les places de stationnement adjacentes (voir figure 10).

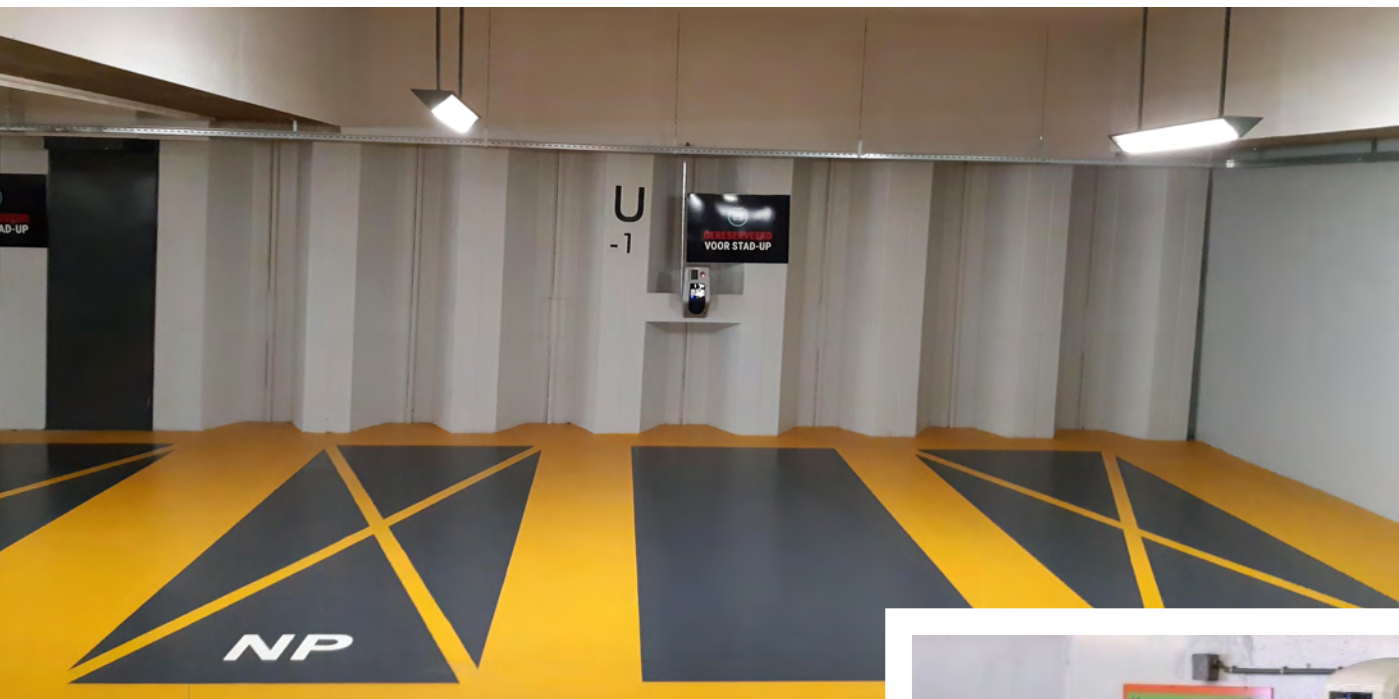


Fig. 10 : Places de stationnement mises hors service à côté d'une station de charge électrique
 Source : <https://architectenweb.nl/projecten/project.aspx?ID=41072#photoid=387431>



Fig. 9 : Installation de charge dans un parking souterrain

Si un véhicule électrique prend feu, il doit être refroidi le plus rapidement possible afin d'empêcher ou de limiter l'emballement thermique et donc de limiter la charge combustible sur la zone environnante. Il existe plusieurs solutions pour atteindre cet objectif :

- **Systèmes d'extinction actifs** tels que les systèmes de brouillard d'eau, de sprinklage, d'extinction au gaz ou d'extraction de fumée et de chaleur. Ces systèmes permettront de refroidir les véhicules électriques et de réduire le risque de propagation de l'incendie. Cependant, lors de l'installation, il est important de correctement positionner les différents systèmes. Les batteries lithium-ion, de par leur protection mécanique, sont enfermées dans un boîtier étanche. Par conséquent, l'agent extincteur ne peut pas facilement pénétrer au cœur du feu. De plus, les packs de batteries sont généralement situés au bas du véhicule, ce qui rend difficile l'accès au foyer de l'incendie par le haut.

Nous savons également que l'emballement thermique permet aux véhicules de brûler pendant une longue période. Bien plus longue que la capacité d'extinction standard des systèmes. La capacité du système d'extinction choisi doit donc être adaptée en conséquence. Cela peut poser des problèmes selon la configuration d'un bâtiment existant et nécessite parfois des modifications structurelles. Il est donc important de faire le bon choix afin d'éviter des coûts supplémentaires.

- **Assurer une détection précoce et une intervention manuelle rapide.** La détection d'incendie, installés conformément aux codes de bonne pratique tels que mentionnés dans la norme NBN S21-100-1&2, constituent un moyen approprié pour y parvenir. Cependant, les équipes d'intervention internes ou externes doivent également être formées pour réagir correctement et disposer des moyens appropriés. Une action efficace consiste à immerger le véhicule électrique. Par exemple en le submergeant dans un conteneur (voir figure 11) ou en inondant un parking. De cette manière, l'eau s'infiltré partout, les cellules de la batterie sont constamment et efficacement refroidies et presque aucun gaz nocif n'est libéré.



Fig. 11 : Immersion d'une voiture électrique en feu
Source : <https://www.facebook.com/BrandweerMWB/posts/2902012643145806>

Il ne faut pas oublier qu'une intervention dans un parking est très compliquée. Il est donc important de garantir une bonne accessibilité aux véhicules électriques et à leurs stations de charge.



S'il n'est pas possible d'empêcher un emballement thermique, il est important de préserver la stabilité et le compartimentage du bâtiment dans lequel le véhicule est garé ou des bâtiments environnants, si le véhicule est garé à l'extérieur. Cela peut être fait en prenant les mesures suivantes :

- **Augmentez localement la résistance au feu**, par exemple en appliquant des produits résistants au feu au plafond et sur les murs (voir figure 12).



*Fig. 12 : Amélioration de la résistance au feu du plafond devant le parking de véhicules électriques
Source : <https://architectenweb.nl/projecten/project.aspx?ID=41072#photoid=387432>*

- Assurez **une ventilation suffisante** pour éviter une explosion causée par les gaz libérés par la batterie.

Outre les mesures visant à prévenir le début et la propagation d'un incendie et à garantir une intervention sans problème, il convient également de vérifier si des mesures suffisantes sont mises en place pour évacuer les personnes présentes en toute sécurité et rapidement. N'oubliez pas que les particules incandescentes, le rayonnement thermique et le dégagement de gaz nocifs empêchent l'évacuation sûre.

CONCLUSION

Si des véhicules électriques sont stationnés ou (re)chargés, des mesures de sécurité supplémentaires doivent être mise en œuvre. De nombreuses solutions sont possibles. L'astuce consiste à atteindre un certain niveau de sécurité contre l'incendie en combinant un nombre limité de mesures. Ceci en fonction de la valeur du bâtiment et de son contenu. Il est important de comparer la résistance au feu et la stabilité du bâtiment avec les températures attendues.

Évidemment, il faut garder à l'esprit que les pertes humaines doivent être évitées. Autant pendant l'évacuation que durant l'intervention.

Une approche adéquate et économique nécessite donc - au cas par cas - une étude approfondie et une analyse des risques qui l'accompagne. Elle doit tenir compte de la structure, de la construction et de la disposition du bâtiment, des mesures de prévention active et passive du feu et des procédures d'évacuation et d'intervention. Ceci afin d'adapter les mesures de prévention et les investissements correspondants au risque résiduel escompté (voir figure 13).

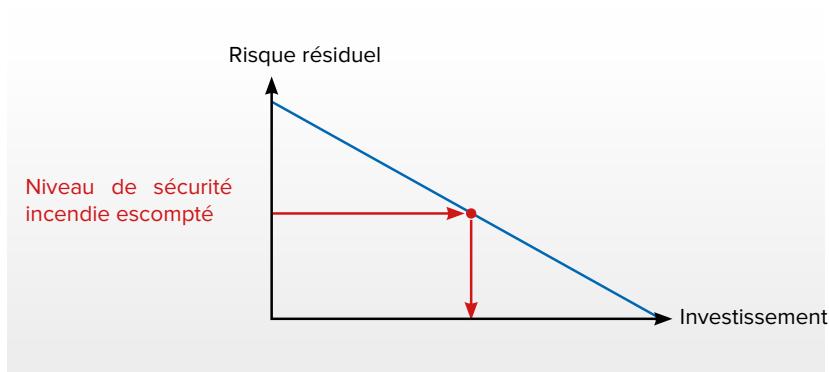


Fig. 13 : coût d'investissement par rapport au risque résiduel



Siège Social

Jan Olieslagerslaan 35
1800 Vilvoorde
Tel: +32 2 674 57 11

Offices

Jan Olieslagerslaan 35
1800 Vilvoorde
Tel: +32 2 674 57 11
brussels@vincotte.be

Rue Phocas Lejeune 11
5032 Gembloux
Tel: +32 81 432 611
gembloux@vincotte.be

Noordersingel 23
2140 Antwerpen
Tel: +32 3 221 86 11
antwerpen@vincotte.be

Bollebergen 2a bus 12
9052 Gent
Tel: +32 9 244 77 11
gent@vincotte.be

Technical Training Center

Leuvensesteenweg 248 A
Tel: +32 2 674 58 57
1800 Vilvoorde
academy@vincotte.be



vincotte.be