

Feux de batteries lithium-ion : Enjeux opérationnels et stratégie de maîtrise du risque

Document de synthèse technique opérationnelle

Avril 2026



“Les informations présentées sont issues de retours d’expérience et d’études techniques. Elles ne se substituent pas aux doctrines officielles des services de secours ni aux réglementations en vigueur.”



Rédaction :
Bruno Saudemonet – Prev Sécurité 62

Relecture technique et contribution :
Johan Gavel – 3CJ Ingénierie



Sommaire

- 1. Introduction : vers un nouveau paradigme du risque incendie
- 2. Phénoménologie du feu de batterie Li-ion
- 3. Nouveaux enjeux opérationnels pour les services de secours
- 4. Essais feu : protocoles et résultats INERIS / LCPP / SDIS 13 & 77
- 5. Données statistiques, études de cas et RETEX 2020-2025
- 6. Vers une classe de feu dédiée aux batteries lithium-ion (classe "L")
- 7. Focus stratégiques par domaine à risque
- 8. Conclusion : de la réaction à la maîtrise du risque
- 9. Bibliographie
- 10. Annexes opérationnelles

1. Introduction : vers un nouveau paradigme du risque incendie

Les batteries lithium-ion équipent aujourd'hui massivement les véhicules électriques, les EDPM (trottinettes, vélos), l'outillage électroportatif ainsi que les systèmes de stockage d'énergie stationnaires. Leur forte densité énergétique introduit un risque incendie spécifique, caractérisé notamment par des phénomènes d'emballement thermique, d'émission de gaz toxiques (dont le fluorure d'hydrogène – HF), de projections et de réinflammation potentielle sur plusieurs dizaines d'heures.

Depuis plusieurs années, les services de secours, les industriels et les assureurs sont confrontés à des cinétiques d'incendie qui diffèrent sensiblement des feux conventionnels, nécessitant une adaptation progressive des doctrines d'intervention et des stratégies de prévention. Des travaux sont notamment conduits par des organismes spécialisés et des services d'incendie et de secours en vue de mieux caractériser ces phénomènes et d'adapter les référentiels existants.

Dans ce contexte, certaines réflexions portent sur l'évolution des classifications traditionnelles des feux afin d'intégrer plus spécifiquement les systèmes de stockage électrochimique.

D'un point de vue opérationnel, les retours d'expérience tendent à montrer que la gestion de ce type d'événement repose prioritairement sur le contrôle de l'emballement thermique, le refroidissement des systèmes concernés et la limitation de la propagation aux éléments environnants.

Ainsi, au-delà des moyens matériels, l'enjeu réside dans l'évolution des approches doctrinales et organisationnelles, avec pour objectif de passer d'une logique de réaction à une logique d'anticipation et de maîtrise du risque.

2. Phénoménologie du feu de batterie Li-ion

Paramètre	Caractéristiques opérationnelles
Déclenchement	Choc mécanique, surcharge, défaut de fabrication, court-circuit ou vieillissement. Le départ de feu peut être discret, parfois sans flamme visible initiale. Les équipements récents intégrant des batteries Li-ion nécessitent une vigilance particulière en cas de sinistre.
Emballement thermique	Réaction en chaîne pouvant se propager de cellule en cellule. Les températures internes peuvent atteindre des niveaux élevés (>600°C à >800°C selon les configurations). La montée en puissance peut être rapide, sur quelques minutes.
Gaz émis	Émission de gaz toxiques et inflammables (HF, CO, CO ₂ , H ₂ , composés organiques volatils). Présence possible de particules métalliques. Risques combinés : toxicité, inflammabilité et explosion en milieu confiné.
Comportement	Phénomènes possibles : projections d'électrolyte enflammé, jets de flammes localisés, rupture de modules. Risque de réinflammation à distance dans le temps (plusieurs heures à plusieurs dizaines d'heures selon les cas).
Extinction	L'extinction complète du phénomène interne peut être difficile à obtenir. Les stratégies actuelles reposent principalement sur le refroidissement prolongé, la surveillance thermique et la limitation de la propagation.

Enjeu clé : Le refroidissement permet de maîtriser les effets visibles (flammes, propagation), mais ne garantit pas à lui seul l'arrêt immédiat du processus interne. Une surveillance prolongée et des moyens adaptés sont généralement nécessaires.

3. Nouveaux enjeux opérationnels pour les services de secours

3.1 Doctrine d'engagement : principes opérationnels (approche « 3R »)

Étape	Actions observées (RETEX)	Points de vigilance
1. Reconnaître	Indices fréquemment rapportés : fumée blanche dense, odeur caractéristique, crépitements ou sifflements. Utilisation de caméra thermique.	Des seuils de température de l'ordre de 100 à 150°C en surface sont souvent associés aux phases d'emballlement thermique. Mise en place d'un périmètre de sécurité pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres selon le contexte.
2. Refroidir	Les retours d'expérience opérationnels (SDIS, essais techniques) mettent en avant l'utilisation de débits d'eau importants, souvent supérieurs à 500 à 1000 L/min, avec des durées d'engagement prolongées (plusieurs dizaines de minutes).	L'efficacité dépend fortement de l'accessibilité au pack batterie. Certains agents (mousse, CO ₂ , poudre) montrent des limites sur l'emballlement thermique. L'objectif peut être le refroidissement et la limitation de propagation plutôt qu'une extinction immédiate.
3. Isoler / sécuriser	Lorsque les conditions le permettent, déplacement vers une zone sécurisée ou mise en quarantaine. Des durées de surveillance de plusieurs heures à plusieurs jours sont rapportées (jusqu'à 24 à 72h dans certains cas).	Risque de réinflammation différée. Nécessité d'un suivi thermique et d'une gestion spécifique post-intervention.

Équipements de protection : Les interventions impliquant des batteries Li-ion nécessitent généralement le port d'EPI adaptés (ARI notamment), en raison des émissions potentielles de gaz toxiques tels que le fluorure d'hydrogène (HF). Une attention particulière est également portée à la gestion des eaux d'extinction, susceptibles d'être contaminées.



3.2 Moyens d'extinction : synthèse des retours d'expérience (PNRS / SDIS / essais techniques)

Méthode	Efficacité observée	Limites opérationnelles
Eau en grande quantité	Solution de référence dans la majorité des retours d'expérience. Permet le refroidissement des cellules et la maîtrise de la propagation. Des volumes de l'ordre de plusieurs milliers de litres sont fréquemment rapportés pour un véhicule électrique ($\approx 3\ 000$ à $10\ 000$ L selon les cas).	Durée d'intervention prolongée (souvent $>1h$). Production d'eaux d'extinction potentiellement contaminées (notamment en composés acides). Risque de réinflammation si le refroidissement est insuffisant.
Immersion	Technique visant à stabiliser thermiquement le système par noyage complet. Des durées de stabilisation de 24 à 48h sont rapportées dans certains protocoles.	Logistique lourde (transport, moyens de levage, volume d'eau pouvant atteindre plusieurs m^3). Mise en œuvre dépendante du contexte opérationnel.
Agents encapsulants (type AVD, F-500)	Effets rapportés : amélioration du mouillage, captation partielle de certains gaz, action sur le refroidissement de surface.	Efficacité variable selon les configurations (type de batterie, accessibilité). Coût et disponibilité limités. Absence de consensus opérationnel à ce stade.
Couvertures anti-feu	Permettent de limiter la propagation des flammes et le rayonnement thermique. Utilisées en confinement temporaire.	N'agissent pas directement sur l'emballlement thermique interne. Risque d'accumulation de gaz sous la couverture. Surveillance nécessaire.
CO ₂ / Poudre	Peuvent agir sur les flammes visibles en phase initiale ou périphérique.	Efficacité limitée sur le phénomène d'emballlement thermique interne. Effet souvent temporaire avec risque de reprise.

Tendance opérationnelle : Les retours d'expérience disponibles mettent en évidence une approche combinant :

- Refroidissement massif (principalement par eau),
- Confinement si nécessaire,
- Surveillance thermique prolongée.

À ce jour, aucun agent d'extinction universellement reconnu comme pleinement efficace sur l'ensemble du phénomène d'emballlement thermique n'est identifié.

3.3 Gestion post-intervention

Surveillance :

Une surveillance thermique prolongée est généralement mise en œuvre à l'issue de l'intervention, notamment à l'aide de caméras thermiques.

Des durées de suivi de l'ordre de 24 à 72 heures sont fréquemment rapportées dans les retours d'expérience, en raison d'un risque de réinflammation différée, y compris après des phases de refroidissement ou d'immersion.

Plusieurs reprises de feu à distance dans le temps ont été observées dans certains cas.

Stockage / mise en sécurité :

Lorsque cela est possible, les systèmes ou véhicules impliqués sont isolés dans une zone extérieure sécurisée, à distance des bâtiments et des enjeux sensibles.

Dans certains contextes, l'utilisation de conteneurs ou zones de quarantaine dédiées est mise en œuvre afin de limiter les conséquences d'une éventuelle reprise de feu.

Décontamination et gestion des résidus :

Les eaux d'extinction peuvent être chargées en polluants (notamment composés acides et particules) et nécessitent une gestion adaptée en tant que déchets.

Les volumes générés peuvent être importants (plusieurs dizaines de m³ selon les configurations) et doivent faire l'objet d'un traitement conforme à la réglementation environnementale.

Les intervenants peuvent également être exposés à des substances toxiques (dont le fluorure d'hydrogène – HF), ce qui implique :

- Des procédures de décontamination des équipements,
- Un rinçage des tenues,
- Selon les situations, l'utilisation d'équipements spécifiques ou à usage limité.

4. Essais feu : protocoles et résultats INERIS / LCPP / SDIS 13 & 77

4.1 Résultats observés selon l'échelle

Les résultats ci-dessous sont issus d'essais expérimentaux et de retours d'expérience, notamment menés par INERIS, le LCPP et différents SDIS. Ils doivent être considérés comme des ordres de grandeur dépendant des configurations.

1. Cellule unitaire

Inflammation observée dans une plage d'environ 150 à 200°C, avec émission possible de jets de flamme pouvant atteindre 1 à 2 mètres.

2. Module (5 à 10 kWh)

Propagation thermique à l'ensemble du module en quelques minutes (≈ 3 à 8 min selon les essais).
Températures de surface pouvant dépasser 600°C.

3. Pack batterie véhicule (~60 kWh)

Embrasement généralisé observé dans des délais de l'ordre de 15 à 25 minutes.

Puissance thermique (HRR) mesurée pouvant atteindre 6 à 8 MW, avec une durée totale de phénomène pouvant approcher une heure dans certains essais.

L'énergie dégagée peut être significative et nécessite des moyens d'intervention adaptés, notamment en termes de refroidissement et de durée d'engagement.

4.2 Protocole type – essais pack batterie (~60 kWh)

Principe d'initiation :

Surchauffe contrôlée d'une cellule (ex : résistance thermique d'environ 500 W) jusqu'au déclenchement de l'emballement thermique, dans des conditions expérimentales reproductibles.

Instrumentation :

Dispositifs de mesure utilisés dans certains essais :

- Plusieurs dizaines de thermocouples,
- Analyseurs de gaz (type FTIR) pour HF, CO, CO₂...,
- Systèmes de pesée en continu,
- Dispositifs de mesure calorimétrique à grande échelle.

Mesures caractéristiques (exemples d'essais) :

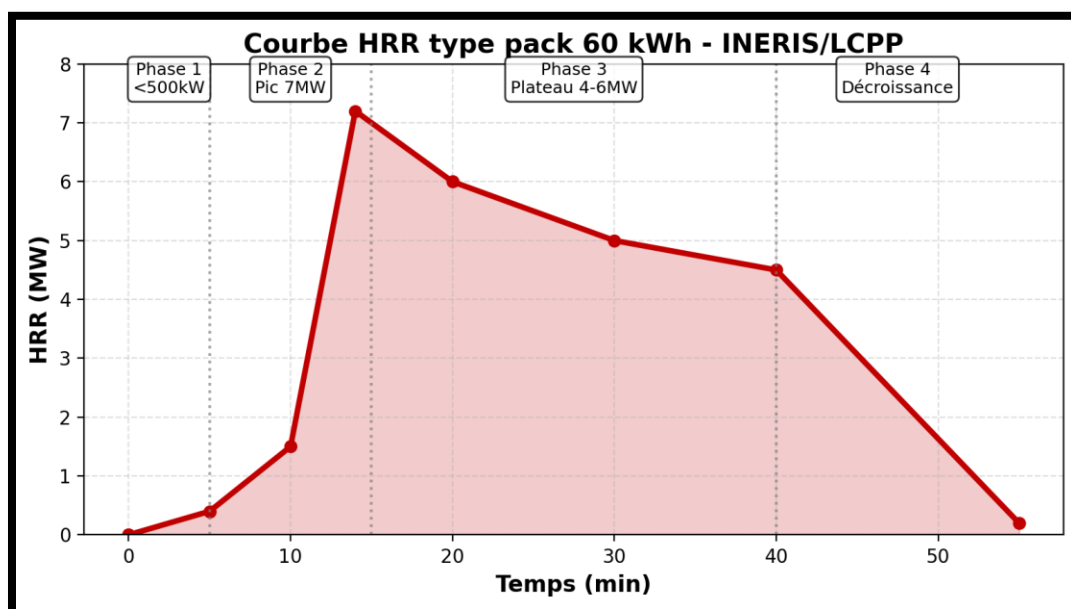
- Température de déclenchement observée : $\approx 130\text{--}150^\circ\text{C}$ au niveau de la cellule initiatrice
- Propagation à cellule adjacente en quelques dizaines de secondes à quelques minutes
- Pic de puissance thermique : $\approx 7\text{ MW}$ (atteint en une quinzaine de minutes dans certains essais)
- Quantité totale de HF émise : ordre de grandeur de plusieurs kilogrammes pour un pack de 60 kWh

4.3 Protocoles et résultats INERIS / LCPP / SDIS 13 & 77

4.3.1 Schéma 1 : Courbe HRR type – pack batterie ~60 kWh

Le schéma ci-dessous illustre une courbe de dégagement thermique (HRR) issue d'essais expérimentaux menés sur des batteries lithium-ion de type véhicule électrique.

Il s'agit d'une **représentation indicative**, dont les valeurs peuvent varier selon les technologies, l'état de charge, la conception du pack et les conditions d'essai.



Phases caractéristiques observées :

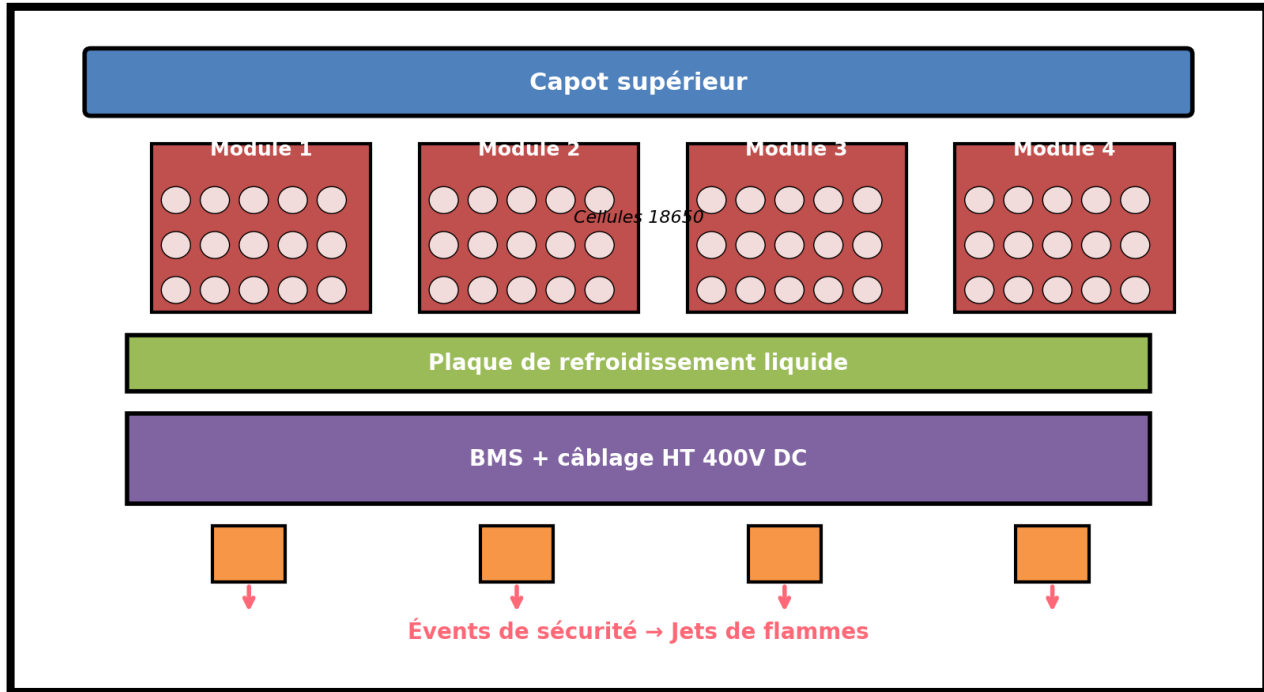
- **Phase 1 (≈ 0 à 5 min)**
Montée en puissance progressive, souvent associée à une émission de fumées claires.
HRR généralement faible (ordre de grandeur < 500 kW).
- **Phase 2 (≈ 5 à 15 min)**
Accélération rapide du phénomène (emballement thermique).
Apparition de jets de flamme et augmentation marquée du HRR, pouvant atteindre plusieurs MW (≈ 6 à 8 MW dans certains essais).
- **Phase 3 (≈ 15 à 40 min)**
Phase de régime quasi-stationnaire avec un niveau de puissance thermique élevé (ordre de grandeur de quelques MW).
Correspond généralement à un embrasement généralisé du pack.
- **Phase 4 (> 40 min)**
Phase de décroissance progressive.
Un risque de réactivation thermique peut subsister en l'absence de refroidissement suffisant.

Enseignements opérationnels

Les retours d'expérience et essais disponibles mettent en évidence plusieurs points clés :

- **Conception des packs (packaging, BMS)**
Les dispositifs de gestion (BMS) et la conception des packs permettent généralement de retarder la propagation thermique, sans toutefois l'empêcher totalement dans certaines conditions d'emballement.
- **Modes d'application de l'eau**
L'utilisation d'eau, notamment sous forme diffusée ou en brouillard, peut favoriser la pénétration et le refroidissement des zones internes, en fonction de l'accessibilité du pack et de sa conception.
- **Risque électrique**
Les packs batteries peuvent présenter des tensions élevées (plusieurs centaines de volts en courant continu), avec un risque électrique résiduel.
Toute action intrusive (perçage, ouverture) doit être considérée comme potentiellement dangereuse et réalisée uniquement dans des conditions maîtrisées.
- **Stratégies de refroidissement**
Les stratégies privilégiées reposent sur un refroidissement prolongé, pouvant inclure l'injection d'eau via des points d'accès existants lorsque ceux-ci sont identifiés (événements, zones techniques), conformément aux recommandations constructeurs lorsqu'elles sont disponibles.

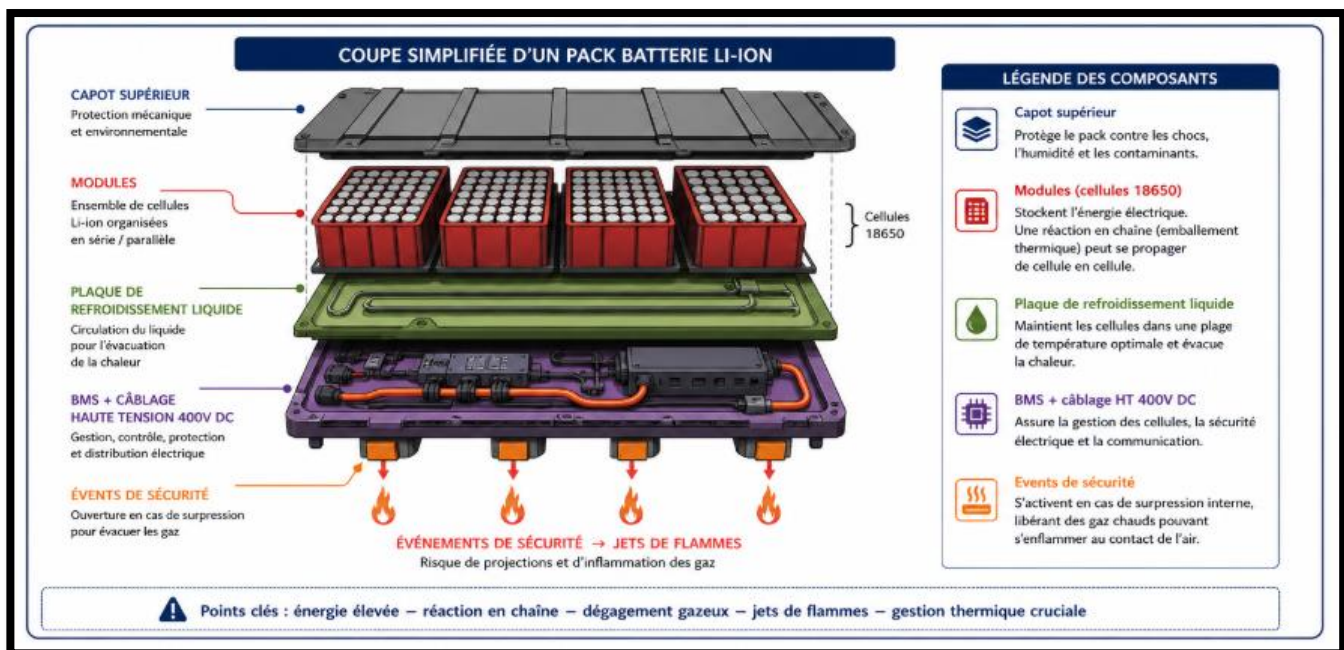
4.3.2 Schéma 2 : Coupe simplifiée d'un pack batterie Li-ion



Conclusion des essais :

Les essais disponibles montrent que les batteries de véhicules électriques peuvent libérer une quantité d'énergie significative, pouvant être, dans certains cas, comparable à celle de plusieurs véhicules thermiques selon les configurations et les conditions d'essai.

Au-delà de l'énergie dégagée, ce sont surtout **la durée du phénomène, la cinétique de propagation et la toxicité des fumées émises** qui constituent des facteurs différenciants majeurs par rapport aux incendies conventionnels.

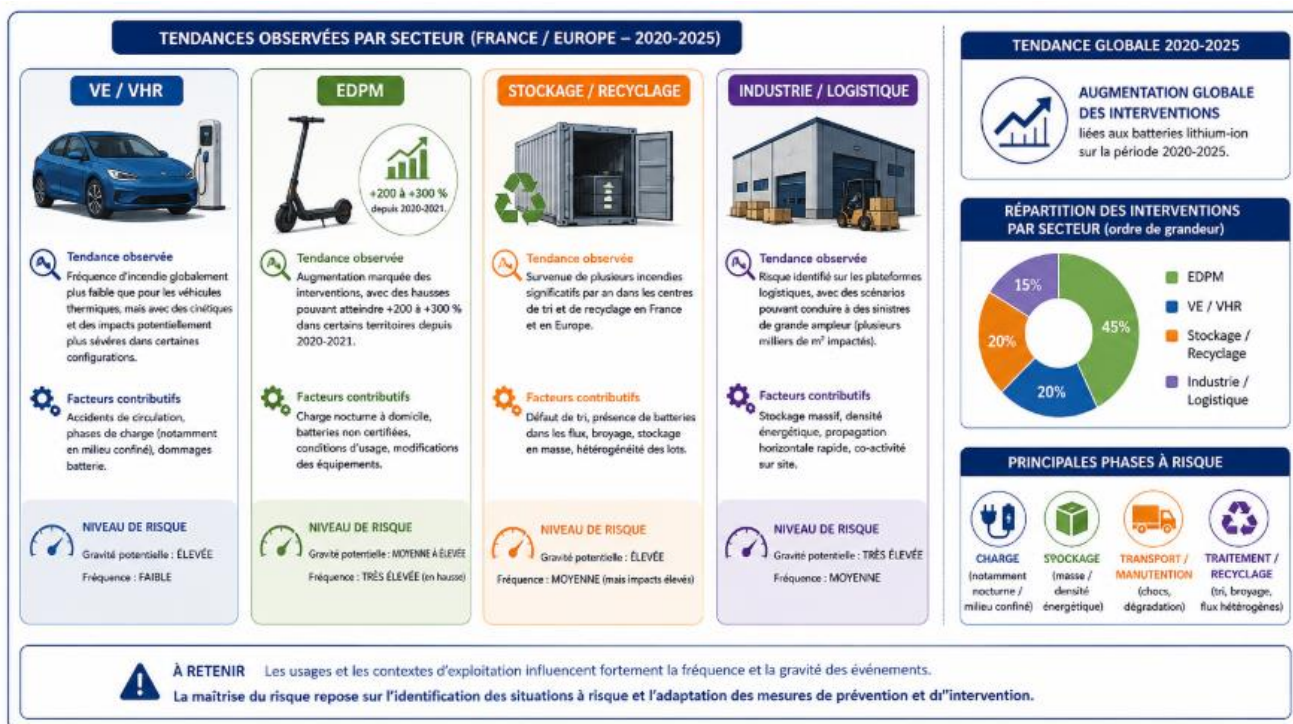


5. Données statistiques, études de cas et RETEX 2020-2025

5.1 Tendances observées (France / Europe)

Les données ci-dessous sont issues de retours d'expérience opérationnels et de publications techniques. Elles doivent être considérées comme des ordres de grandeur pouvant varier selon les sources, les périodes et les périmètres étudiés.

Secteur	Tendance observées	Facteurs contributifs identifiés
VE/VHR	Les études disponibles suggèrent une fréquence d'incendie globalement plus faible que pour les véhicules thermiques, mais avec des cinétiques et des impacts potentiellement plus sévères dans certaines configurations.	Accidents de circulation, phases de charge (notamment en milieu confiné), dommages batterie
EDPM	Augmentation marquée des interventions, avec des hausses pouvant atteindre +200 à +300 % dans certains territoires depuis 2020-2021.	Charge nocturne à domicile, batteries non certifiées, conditions d'usage
Stockage / Recyclage	Survenue de plusieurs incendies significatifs par an dans les centres de tri et de recyclage en France et en Europe.	Défaut de tri, présence de batteries dans les flux, broyage
Industrie / Logistique	Risque identifié sur les plateformes logistiques, avec des scénarios pouvant conduire à des sinistres de grande ampleur (plusieurs milliers de m² impactés) .	Stockage massif, densité énergétique, propagation horizontale rapide



5.2 RETEX détaillés et enseignements opérationnels

RETEX 1 : Incendie de VHR en parking souterrain (Lyon, mars 2023)

Phase	Déroulement observé	Contraintes rencontrées	Enseignements opérationnels
T0 à T+5min	Départ de feu sous véhicule en phase de charge. Fumée blanche dense.	Identification initiale du caractère Li-ion non immédiate par l'appelant.	Former les exploitants IRVE à la détection des signaux précoces.
T+8min	Engagement FPT. Reconnaissance ARI. Crépitements + jets de flammes sous châssis.	Accès difficile, températures mesurées supérieures à 400°C à 5 m . Sprinklers peu efficaces sur le pack.	Les RETEX indiquent la nécessité de débits hydrauliques significatifs (ex : ≈ 500 L/min minimum dans ce cas).
T+20min	Propagation à 4 véhicules adjacents . Visibilité nulle.	Extraction impossible. Absence de point d'eau à grand débit.	Intégrer des dispositifs adaptés : colonne sèche 100 mm + raccords pompiers dans les parkings >500 m ² .
T+1h à T+8h	Refroidissement continu avec 6 lances . Caméra thermique : points chauds à ≈ 600°C .	Volume d'eau mobilisé d'environ 45 000 L . Eaux d'extinction acides (pH \approx 2, présence HF).	Prévoir des dispositifs de rétention et de neutralisation des effluents.
H+12 à H+72	Surveillance prolongée. Reprises observées à H+18 et H+36 .	Véhicule non déplaçable. Parking immobilisé ≈ 5 jours .	Nécessité de zones de quarantaine extérieure et de procédures de suivi post-intervention.

Enseignements majeurs – parkings souterrains (PS)

Stratégies d'engagement en milieu confiné :

Les retours d'expérience montrent que, dans certaines configurations de parkings souterrains avec accès contraint ou impossibilité d'extraction, les stratégies peuvent viser prioritairement la maîtrise du sinistre et la limitation de la propagation, notamment par la protection des structures et des volumes adjacents.

Accès au foyer et moyens de refroidissement :

La difficulté d'accès au cœur du sinistre (pack batterie) constitue un enjeu majeur.

Des dispositifs permettant d'amener l'eau au plus près de la source thermique, notamment sous le véhicule, sont identifiés comme des leviers d'efficacité pour améliorer le refroidissement tout en limitant l'exposition des intervenants.

Impacts sur la conception des ouvrages :

Les retours d'expérience mettent en évidence l'intérêt de dispositifs constructifs adaptés dans les parkings souterrains, tels que :

- Compartimentage coupe-feu
- Moyens d'accès pour les secours
- Dispositifs de détection (thermique notamment)
- Infrastructures hydrauliques adaptées.

Ces éléments s'inscrivent dans les réflexions actuelles sur l'évolution des exigences réglementaires et des bonnes pratiques de conception.

RETEX 2 : Incendie de stockage tampon en centre de recyclage (Bouches-du-Rhône, 2024)

Cas issu de retours d'expérience opérationnels. Les données présentées correspondent à cette configuration spécifique.

Cause identifiée :

Présence d'une batterie (type trottinette) dans une benne de déchets industriels banals (DIB). Le passage en phase de broyage a entraîné un court-circuit, à l'origine de l'initiation du sinistre.

Cinétique observée :

- **T0** : phénomène initial de type explosion
- **T+3 min** : propagation à une surface d'environ 200 m²
- **T+15 min** : extension du sinistre à environ 5 000 m²

Propagation favorisée par la **projection de cellules et matériaux enflammés**, entraînant une contamination rapide des zones adjacentes.

Moyens engagés :

- Environ **120 sapeurs-pompiers** mobilisés
- Durée d'intervention de l'ordre de **8 heures**
- Déploiement d'environ **2 km de tuyaux**

Enseignements opérationnels :

Les retours d'expérience mettent en évidence que les centres de tri et de recyclage constituent des sites à risque élevé, en raison de la présence diffuse de batteries dans les flux de déchets.

Dans certaines configurations, la cinétique observée peut se rapprocher de feux à forte charge calorifique et à propagation rapide, nécessitant une approche spécifique en termes de prévention et de conception.

Les leviers identifiés incluent notamment :

- Renforcement du compartimentage (ex : murs coupe-feu type REI 120 selon les cas),
- Mise en place de systèmes de détection adaptés (y compris technologies innovantes en cours de développement),
- Intégration de dispositifs de gestion des batteries en amont (tri, isolement, immersion si nécessaire).

RETEX 3 : Intervention EDPM en appartement (R+4, Paris, 2025)

Cas issu de retours d'expérience opérationnels. Les éléments présentés correspondent à cette situation spécifique.

Conséquences humaines et matérielles :

- 2 personnes intoxiquées lors de l'événement, dans un appartement d'environ 30 m²
- Suspicion d'exposition à des fumées toxiques issues de la combustion de la batterie

Facteurs contributifs identifiés :

- Phase de charge nocturne dans un espace de vie (salon)
- Absence de dispositif de détection incendie dans la zone concernée
- Utilisation d'une batterie reconditionnée ou non certifiée

Enseignements opérationnels :

Ce type d'événement met en évidence un risque domestique encore insuffisamment perçu, notamment lié aux équipements du quotidien (trottinettes, vélos électriques, batteries portables).

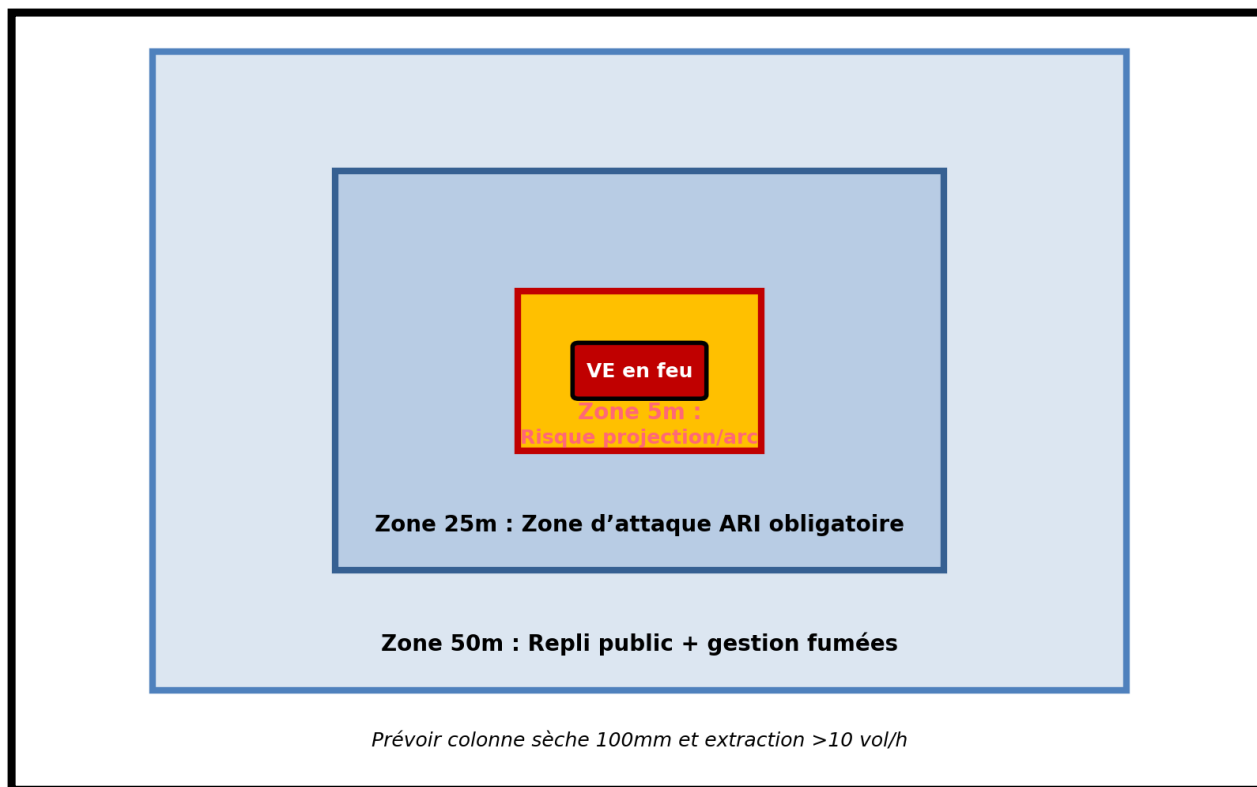
Les axes de prévention identifiés incluent :

- Sensibilisation aux conditions de charge sécurisée,
- Utilisation d'équipements certifiés et conformes,
- Installation de dispositifs de détection incendie adaptés,
- Vigilance accrue lors des phases de charge prolongée ou nocturne.



5.3 Schéma 3 : Périmètre de sécurité – incendie de véhicule en parking souterrain

Schéma issu d'un retour d'expérience opérationnel (Lyon, 2023). Les distances indiquées correspondent à des ordres de grandeur observés dans ce contexte et peuvent varier selon la configuration des lieux et les conditions d'intervention.



Lecture du schéma :

- **Zone immédiate (~0 à 5 m)**
Zone de danger direct (projections, phénomènes thermiques, risques électriques).
Accès fortement contraint et réservé aux intervenants équipés.
- **Zone rapprochée (~5 à 25 m)**
Zone d'intervention opérationnelle.
Utilisation d'équipements de protection adaptés (dont ARI selon les conditions).
Exposition possible à la chaleur, aux fumées et aux gaz.
- **Zone élargie (~25 à 50 m)**
Zone de mise en sécurité et de gestion des flux (évacuation, contrôle des fumées).
Adaptation du périmètre en fonction de la ventilation et de la configuration du parking.

Enseignements associés :

Les retours d'expérience mettent en évidence :

- La nécessité d'adapter les périmètres de sécurité à la cinétique du sinistre
- L'importance de la gestion des fumées en milieu confiné
- Le rôle déterminant des conditions d'accès et des équipements disponibles

Note conception / prévention :

Dans une logique de maîtrise du risque, certains aménagements peuvent être étudiés :

- Infrastructures hydrauliques adaptées (ex : colonnes sèches dimensionnées)
- Dispositifs de désenfumage ou d'extraction performants
- Organisation des accès pour les secours

5.4 RETEX opérationnels partagés (PNRS / SDIS)

Synthèse issue de retours d'expérience. Les éléments ci-dessous constituent des ordres de grandeur et peuvent varier selon les configurations.

- **Engagement et temporalité :**

Les retours d'expérience montrent qu'une **intervention précoce est déterminante**.

Dans certains cas, la fenêtre d'action initiale peut être **de l'ordre de quelques minutes ($\approx < 5$ min après les premières fumées)**, au-delà desquelles la maîtrise du sinistre devient plus complexe.

- **Communication opérationnelle :**

L'identification rapide d'une **suspicion d'implication de batteries Li-ion** et sa transmission aux centres de coordination (type CODIS) permettent d'**adapter les moyens et la stratégie d'intervention**.

- **Formation et acculturation au risque :**

Les retours d'expérience soulignent la nécessité de **renforcer la formation** des intervenants sur :

- Les risques liés aux gaz toxiques (dont le HF)
- Les dangers électriques résiduels
- Les spécificités des feux de batteries lithium-ion

6. Vers une classe de feu dédiée aux batteries lithium-ion (classe "L")

Pourquoi envisager une nouvelle classe ?

Les classifications actuelles des feux (A, B, C, D, F) ne permettent pas de caractériser pleinement les phénomènes observés lors d'incendies impliquant des batteries lithium-ion.

En effet, ces systèmes présentent des spécificités :

- Emballage thermique auto-entretenu
- Production de gaz toxiques
- Risque de réinflammation différée
- Comportement énergétique complexe.

Les batteries lithium-ion peuvent ainsi être considérées, dans certaines conditions, comme des sources d'énergie actives, dont le comportement diffère des combustibles classiques.

Définition envisagée (proposition) :

"Feux impliquant des dispositifs de stockage d'énergie électrochimique lithium-ion, caractérisés par un emballage thermique, des émissions de gaz toxiques et un risque de réinflammation."

Impacts potentiels sur les pratiques :

Dans l'hypothèse d'une reconnaissance spécifique de ce type de feu, plusieurs évolutions pourraient être envisagées :

1. **Signalétique adaptée**
Développement de pictogrammes ou mentions spécifiques sur les équipements et installations.
2. **Moyens d'extinction adaptés**
Orientation vers des solutions privilégiant le refroidissement et, le cas échéant, l'utilisation d'additifs spécifiques selon les configurations.
3. **Renforcement de la formation**
Intégration de modules dédiés dans les formations opérationnelles (intervenants, exploitants, personnels de sécurité), en lien avec les risques spécifiques identifiés.
4. **Évolutions réglementaires possibles**
Réflexions en cours concernant l'adaptation des exigences pour certaines installations (ex : stockage d'énergie, logistique), notamment en matière de :
 - Distances de sécurité
 - Détection
 - Gestion des effluents
 - Compartimentage

État des réflexions :

À ce jour, la notion de “classe L” ne fait pas l’objet d’une normalisation officielle dans les référentiels européens (notamment EN2).

Elle s’inscrit néanmoins dans des travaux de réflexion portés par différents acteurs institutionnels et opérationnels, en France et à l’international.

À ce stade, il s’agit donc d’une approche prospective, visant à anticiper les évolutions possibles des doctrines et des référentiels techniques.

7. Focus stratégiques par domaine à risque

7.1 Parkings souterrains et véhicules électriques

Risques spécifiques identifiés :

Les parkings souterrains présentent des vulnérabilités particulières en cas d’incendie impliquant un véhicule électrique :

- Confinement des fumées et accumulation de gaz toxiques,
- Évacuation complexe du public,
- Effet thermique amplifié (effet de confinement),
- Proximité immédiate d’autres véhicules, favorisant la propagation.

Dans certains retours d’expérience, un incendie de véhicule électrique peut entraîner la dégradation de plusieurs véhicules adjacents (ordre de grandeur : plusieurs unités, parfois 5 à 8 selon les configurations).

Axes de prévention et d’adaptation :

Les retours d’expérience et les études disponibles mettent en évidence plusieurs leviers d’amélioration :

- **Systèmes d’extinction automatique**
Les dispositifs de type sprinklage (y compris solutions à haute performance) peuvent contribuer à limiter la propagation, sous réserve d’une conception adaptée au risque.
- **Détection précoce**
L’intégration de systèmes de détection avancés (ex : thermique ou autres technologies) peut permettre une identification plus rapide des départs de feu.
- **Organisation des zones de charge (IRVE)**
Une réflexion peut être menée sur l’implantation des bornes, notamment :
 - Proximité des issues
 - Accessibilité pour les secours
 - Dispositifs de coupure déportée
- **Ventilation et désenfumage**
Les performances des systèmes de ventilation jouent un rôle clé dans la gestion des fumées et la limitation des effets thermiques en milieu confiné.

Approches innovantes :

Certaines stratégies exploratoires évoquent la mise en place de zones spécifiques, parfois qualifiées de “zones dédiées” ou à gestion différenciée, permettant de maîtriser plus facilement un sinistre localisé.

Opportunités et valorisation :

L'intégration de dispositifs adaptés à ces nouveaux risques peut constituer un levier de valorisation pour les exploitants et les propriétaires :

- Amélioration du niveau de sécurité perçu,
- Anticipation des évolutions réglementaires,
- Différenciation du patrimoine immobilier.

Des approches de type “**Parking adapté au risque lithium-ion**” (ou équivalent) pourraient, à terme, structurer une offre de services ou de certification.

Annexe A : Simulation de coût global d'un sinistre impliquant un VE en parking souterrain

Hypothèse de travail :

Parking souterrain niveau R-2, environ **200 places**, départ de feu sur un véhicule électrique (type SUV, capacité batterie ~60 kWh) en période nocturne.

*Les données présentées ci-dessous constituent une **simulation à visée pédagogique**, basée sur des retours d'expérience et des ordres de grandeur observés. Les coûts réels peuvent varier selon les configurations, les assurances et les conditions du sinistre.*

Poste	Configuration standard	Configuration avec mesures adaptées
Dommages véhicules	≈ 1 850 000 € (1 VE + 6 VE + 12 VL impactés)	≈ 420 000 € (1 VE + 2 véhicules adjacents)
Dommages bâtiment	≈ 2 400 000 € (dégradation structure béton)	≈ 350 000 € (dommages localisés)
Pertes exploitation	≈ 780 000 € (fermeture ~6 mois)	≈ 90 000 € (fermeture ~3 semaines)
Expertise/dépollution	≈ 420 000 € (jusqu'à ~500 m ³ d'eaux d'extinction à traiter)	≈ 95 000 € (~80 m ³)
Responsabilité / contentieux	≈ 600 000 € (selon sinistre)	0 € (dans ce scénario)
Impact assurantiel (5 ans)	≈ +250 000 € (surprime)	≈ -50 000 € (bonus ou maintien)

Synthèse :

- **Coût total estimatif :**
 - Configuration standard : ≈ 6 300 000 €
 - Configuration adaptée : ≈ 905 000 €

Économie potentielle : ≈ 5 400 000 €

Lecture économique :

Dans cette hypothèse, les mesures de prévention permettent :

- De limiter fortement la propagation,
- De réduire la durée d'indisponibilité,
- De maîtriser les coûts indirects (assurance, image, exploitation).

Le rapport entre investissement et pertes évitées peut conduire à des **niveaux de rentabilité élevés (ordre de grandeur : x20 à x30 selon les cas)**.

7.2 Schéma décisionnel opérationnel – VL en parking souterrain

Synthèse issue de retours d'expérience opérationnels. Les seuils et moyens indiqués correspondent à des ordres de grandeur observés et peuvent varier selon les doctrines locales et les conditions d'intervention.

Situation 1 : Fumée sans flamme visible

- Reconnaissance avec équipements de protection adaptés (ARI notamment selon conditions)
- Mise en œuvre d'un moyen hydraulique initial (ordre de grandeur : ≈ 500 L/min)

Point de vigilance :

Dans certains cas, des températures élevées (ex : $\approx 300^\circ\text{C}$ mesurées localement) peuvent conduire à une réévaluation de l'engagement et à un repositionnement des intervenants.

Situation 2 : Flamme visible / développement du sinistre

- Engagement de moyens hydrauliques renforcés (ordre de grandeur : $\geq 1\,000$ L/min)
- Mobilisation de moyens supplémentaires selon configuration (ex : plusieurs engins pompe)

Point de vigilance :

Certains agents d'extinction (mousse, CO_2 , poudre) peuvent présenter une **efficacité limitée** sur les phénomènes d'emballement thermique.

La stratégie vise prioritairement le **refroidissement et la limitation de la propagation**.

Situation 3 : Embrassement généralisé

- Dans certaines configurations dégradées, adaptation de la stratégie vers une gestion défensive
- Priorité donnée à la protection des structures et des volumes adjacents

Point de vigilance :

Les conditions d'engagement peuvent devenir incompatibles avec une attaque directe du foyer, nécessitant une approche de **maîtrise du sinistre dans sa globalité**.

Annexe B : Fiches réflexes – intervention sur batteries Li-ion (format synthèse)

Synthèse issue de retours d'expérience opérationnels. Les seuils et valeurs indiqués sont des **ordres de grandeur** pouvant varier selon les doctrines locales et les configurations.

P1 – RECONNAÎTRE

Signes caractéristiques :

- Fumée claire / blanche dense
- Sifflements, crépitements
- Odeur âcre ou irritante

Actions :

- Mise en place d'un périmètre de sécurité (ordre de grandeur : ≈ 50 m selon configuration)
- Utilisation d'équipements de protection adaptés (ARI notamment selon conditions)
- Recours à la caméra thermique

Point de vigilance :

Des températures de surface de l'ordre de ≈ 100 à 150°C peuvent être associées aux phases d'emballement thermique. Toute action intrusive sur le pack batterie doit être considérée comme **potentiellement dangereuse**.

P2 – REFROIDIR

Objectif : Limiter la propagation et abaisser la température du système.

Actions observées :

- Mise en œuvre de débits hydrauliques importants (ordre de grandeur : $\geq 1\ 000$ L/min selon les cas)
- Application prolongée (ordre de grandeur : plusieurs dizaines de minutes, ≈ 45 min dans certains cas)
- Ciblage du refroidissement au plus près du pack batterie (ex : sous châssis)

Point de vigilance :

Certains agents (mousse, CO_2 , poudre) peuvent présenter une **efficacité limitée** sur l'emballement thermique. La stratégie vise prioritairement le **refroidissement et la maîtrise du sinistre**.

P3 – ISOLER / GÉRER POST-INTERVENTION

Conditions :

Lorsque la situation est stabilisée (flammes maîtrisées, température en baisse).

Actions observées :

- Déplacement du véhicule vers une zone extérieure sécurisée, lorsque cela est possible
- Utilisation de moyens de manutention adaptés
- Mise en quarantaine ou immersion selon les moyens disponibles

Ordres de grandeur observés :

- Température cible avant déplacement : $\approx <80^{\circ}\text{C}$ dans certains RETEX
- Distance de mise en sécurité : ≈ 10 m ou plus selon site
- Durée de surveillance : jusqu'à 24 à 72 h selon cas

P4 – SÉCURISER**Risques principaux :**

- Gaz toxiques (dont HF)
- Risque électrique résiduel
- Pollution des eaux d'extinction

Actions :

- Maintien des EPI adaptés (ARI selon conditions)
- Mise en œuvre de procédures de décontamination des équipements
- Gestion des effluents d'extinction

Ordres de grandeur observés :

- Volumes d'eau mobilisés : plusieurs dizaines de m^3 (≈ 30 à 60 m^3 dans certains cas)
- Nécessité d'une coordination opérationnelle adaptée (ex : remontée d'information vers les centres de commandement)

7.3 Entrepôt logistique : approche "Lithium-Safe"**Scénario de référence (hypothèse majorante) :**

Stockage de batteries lithium-ion en entrepôt logistique.

Exemple : palette de cellules cylindriques (type 18650), masse ≈ 500 kg, avec propagation possible à l'échelle d'un îlot puis du volume de stockage.

Dans ce type de configuration, les retours d'expérience mettent en évidence une propagation rapide par effet domino, notamment via projections et transfert thermique.

Approche de gestion du risque :

Dans une logique d'analyse type AMDEC, l'objectif n'est pas uniquement l'extinction globale du sinistre, mais la limitation de sa propagation et la maîtrise de l'impact maximal.

Principe directeur :

contenir le sinistre à une zone définie ("îlot") afin d'éviter un scénario généralisé.

Annexe D : Exemple de configuration – entrepôt “Lithium-Safe” (~10 000 m²)

Hypothèses de dimensionnement :

- Surface : ≈ 10 000 m²
- Stockage : ordre de grandeur plusieurs centaines à milliers de tonnes de batteries
- Capacité énergétique cumulée indicative : plusieurs MWh (ex : ≈ 10 000 kWh selon hypothèse)

Objectif : limiter un sinistre à un seul îlot fonctionnel

Organisation spatiale :

- **Îlotage**
Exemple de découpage en ≈ 20 îlots de l'ordre de 100 m² chacun
Capacité indicative : ≈ 500 kWh / îlot

Objectif : compartimenter le risque et limiter la propagation.

- **Compartimentage**
Mise en œuvre de parois coupe-feu (ex : REI 120 selon les exigences applicables)
Circulations inter-îlots (ex : allées de l'ordre de ≈ 4 m)

Détection :

- Systèmes de détection thermique (ex : IR)
- Détection de gaz (ex : H₂, COV)

Objectif : détection précoce et localisation rapide du sinistre

Moyens d'extinction / refroidissement :

- Systèmes de type sprinklage à haute performance (ex : ESFR ou équivalent selon étude)
- Dispositifs complémentaires possibles (ex : canons à eau téléopérés)
- Débits mobilisables localement élevés (ordre de grandeur : plusieurs milliers de L/min sur un îlot)

Lecture économique (exemple indicatif) :

- Surcoût d'aménagement : ordre de grandeur ≈ +15 à +20 %
- Impact assurantiel : réduction potentielle des primes (ex : jusqu'à ≈ -40 % dans certains cas étudiés)
- Limitation des pertes :
 - Scénario non maîtrisé : plusieurs millions à dizaines de millions d'euros
 - Scénario compartimenté : sinistre limité à un îlot (ordre de grandeur ≈ quelques centaines de milliers d'euros)

Effet attendu : réduction drastique de la perte maximale probable (PML)

Positionnement :

Cette approche s'inscrit dans une logique :

- D'anticipation des risques émergents
- D'optimisation assurantielle
- Et de valorisation du foncier logistique

Elle constitue une **base de réflexion technique**, à adapter au cas par cas selon :

- La réglementation applicable (ICPE notamment)
- Les contraintes d'exploitation
- Les études de risque spécifiques

7.4 Modèle économique : offre dédiée au risque lithium-ion

Proposition de valeur :

Développement d'une offre globale de type "Contrat de gestion du risque lithium-ion", intégrant :

- Mise à disposition d'équipements adaptés
- Formation des utilisateurs
- Maintenance et suivi
- Accompagnement post-incident

L'objectif est de proposer une **solution complète**, centrée sur la **maîtrise du risque**, plutôt que sur la fourniture d'un équipement isolé.

Approche marché (ordres de grandeur) :

Dans une logique exploratoire, le marché potentiel peut être estimé selon différents niveaux :

- TAM (marché total adressable) : ≈ 500 M€
- SAM (marché accessible) : ≈ 150 à 200 M€
- SOM (part de marché cible à moyen terme) : \approx quelques millions d'euros (ex : ≈ 3 à 5 M€ à horizon 3 ans)

Ces estimations sont données à titre indicatif et dépendent fortement :

- Des segments ciblés (ERP, logistique, industrie...),
- De la maturité du marché,
- Des évolutions réglementaires.

Exemple de gamme (hypothèse produit) :

- **Solution portable** (ex : ≈ 9 L)
→ ordre de grandeur : ≈ 800 à $1\ 000$ €
- **Solution intermédiaire** (ex : ≈ 50 L)
→ ordre de grandeur : $\approx 4\ 000$ à $5\ 000$ €

- **Solution lourde / confinement** (ex : caisson dédié)
 - ordre de grandeur : ≈ 10 000 à 15 000 €
 - Modèle de service associé (ex : abonnement mensuel ≈ 100 à 150 €)

Ces éléments constituent une base de réflexion produit, à affiner selon les contraintes techniques et normatives.

Facteurs clés de succès (FCS)

1. Conformité et certification

- Démarches de certification (ex : organismes spécialisés, référentiels type EN 3-7 selon applicabilité)

2. Démonstration d'efficacité

- Essais en conditions représentatives
- Production de preuves techniques (tests, vidéos, retours d'expérience)

3. Positionnement service

- Passage d'une logique produit à une logique de solution intégrée
- Accompagnement client sur l'ensemble du cycle de vie (prévention → intervention → post-sinistre)

Annexe C : Projection financière – offre "Lithio-Safe" (horizon 3 ans)

Les données présentées ci-dessous constituent une **projection indicative** basée sur des hypothèses de développement. Elles ont vocation à illustrer un modèle économique potentiel et peuvent évoluer selon les conditions de marché, les investissements réalisés et la stratégie commerciale.

Indicateurs	A1	A2	A3
Chiffre d'affaires	450	1800	4200
Dont Services	70	360	1050
Marge brute	54%	52%	55%
EBITDA	-297	56	780
Résultat net	-310	20	580
Trésorerie	190	210	850

Lecture du modèle :

- **Année 1 (A1)**

Phase d'investissement initial, notamment liée :

- Au développement produit
- Aux démarches de certification
- À la structuration commerciale

Résultat négatif attendu (logique de lancement)

- **Année 2 (A2)**

Phase de montée en charge :

- Augmentation du chiffre d'affaires
- Atteinte du seuil de rentabilité
- Structuration du modèle de service

- **Année 3 (A3)**

Phase de consolidation :

- Croissance soutenue
- Amélioration de la rentabilité
- Montée en puissance des revenus récurrents

Points clés du modèle :

- **Intensité capitalistique initiale**
liée notamment aux certifications et au développement technique.
- **Seuil de rentabilité**
atteint en phase intermédiaire (ordre de grandeur : A2, avec ≈ 200 à 250 clients selon hypothèses).
- **Récurrence des revenus**
montée progressive des services (ordre de grandeur : ≈ 20 à 25 % du CA à horizon A3).

8. Conclusion : de la réaction à la maîtrise du risque

Les incendies impliquant des batteries lithium-ion introduisent des caractéristiques nouvelles, mêlant comportement énergétique complexe, émissions de gaz toxiques et risque de réinflammation différée, qui conduisent à faire évoluer les approches traditionnelles de gestion du risque incendie. Les retours d'expérience montrent que la réponse ne peut plus être uniquement technique ou réactive, mais qu'elle doit s'inscrire dans une logique globale intégrant anticipation des situations à risque, adaptation des moyens, montée en compétence des acteurs et coordination entre exploitants, services de secours et industriels.

Dans ce contexte, le risque lithium-ion dépasse le cadre de l'intervention pour devenir un enjeu de conception, d'exploitation et de continuité d'activité, où les investissements en prévention permettent de réduire significativement les impacts humains, techniques et économiques. Cette évolution traduit un changement progressif de paradigme, passant d'une logique centrée sur l'extinction immédiate à une approche fondée sur la maîtrise du phénomène et la limitation de ses conséquences.

Le lithium-ion ne transforme donc pas seulement la nature du feu, il transforme la manière de l'appréhender, en imposant une gestion de crise énergétique anticipée et structurée, où l'objectif n'est plus de subir le sinistre mais d'organiser les conditions de sa maîtrise, car le véritable enjeu n'est plus d'éteindre un feu, mais d'empêcher qu'il ne devienne incontrôlable.

9. Bibliographie

- PNRS — *Notes opérationnelles relatives aux feux de batteries lithium-ion, 2023–2025*
- INERIS — *Études et rapports sur le comportement au feu des batteries lithium-ion, 2022*
- LCPP — *Synthèse des essais incendie sur véhicules électriques, 2024*
- GESTES — *Travaux et publications sur la sécurité des systèmes énergétiques*
- SDIS 13, SDIS 77, SDIS 69 — *Retours d'expérience opérationnels (RETEX), 2023–2025*