

Batteries lithium-ion sur les lieux de travail

Webinaire Adhys

20 mars 2025

Pierre-Nicolas Mauger
INRS - Expert d'assistance conseil
Risque Incendie/explosion

Stéphane Miraval
INRS - Expert d'assistance conseil
Risque Chimique

Notre métier,
rendre le vôtre plus sûr

www.inrs.fr

L'INRS EN BREF



Historique

1947, création de l'Institut national de sécurité (INS) sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Sécurité sociale)

1968, l'INS devient **L'INRS** (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles)



Statut

Association Loi 1901
(organisme privé sans but lucratif)

Action inscrite dans les orientations de la branche AT/MP de la CNAM

Gouvernance paritaire (employeurs et salariés)

L'INRS EN BREF

Missions



Contribuer à la prévention des **accidents du travail et des maladies professionnelles** en déployant des activités d'assistance, d'études et recherche, de formation et d'information

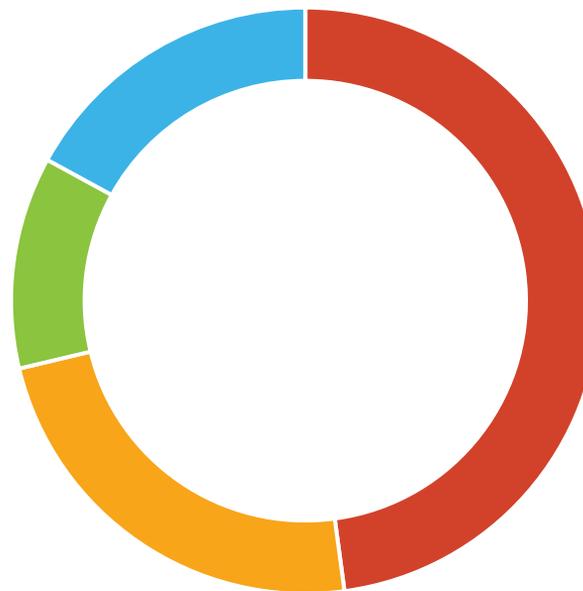
Répartition de l'activité
par modalités d'action
(volume horaire)

45 %
Etudes et Recherche

22 %
Assistance

11 %
Formation

16 %
Information





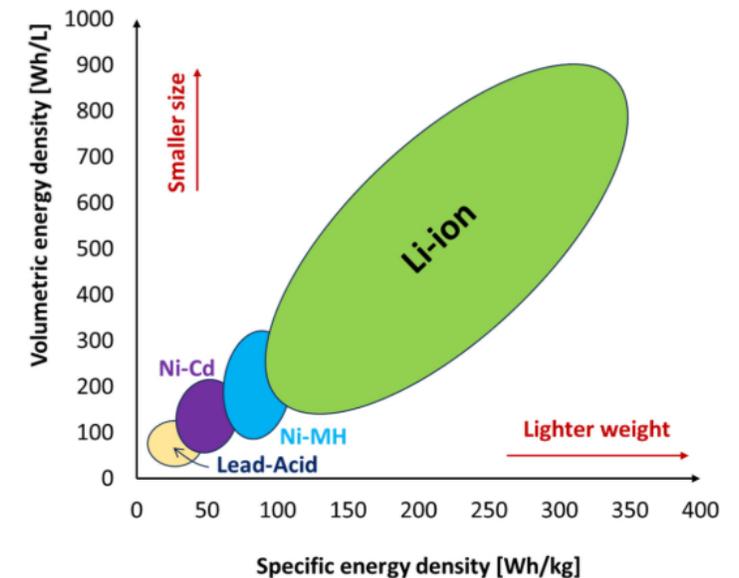
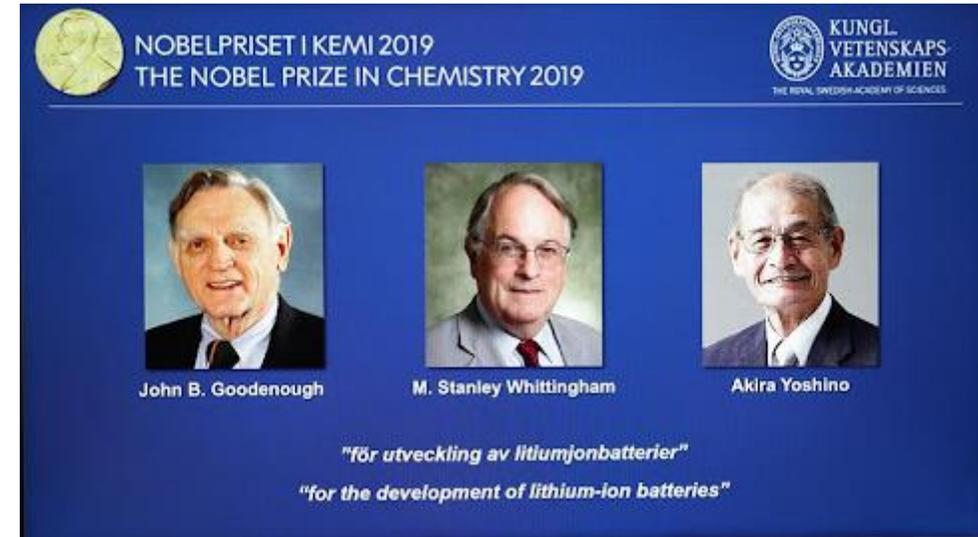
Batteries au lithium

Contexte

Contexte

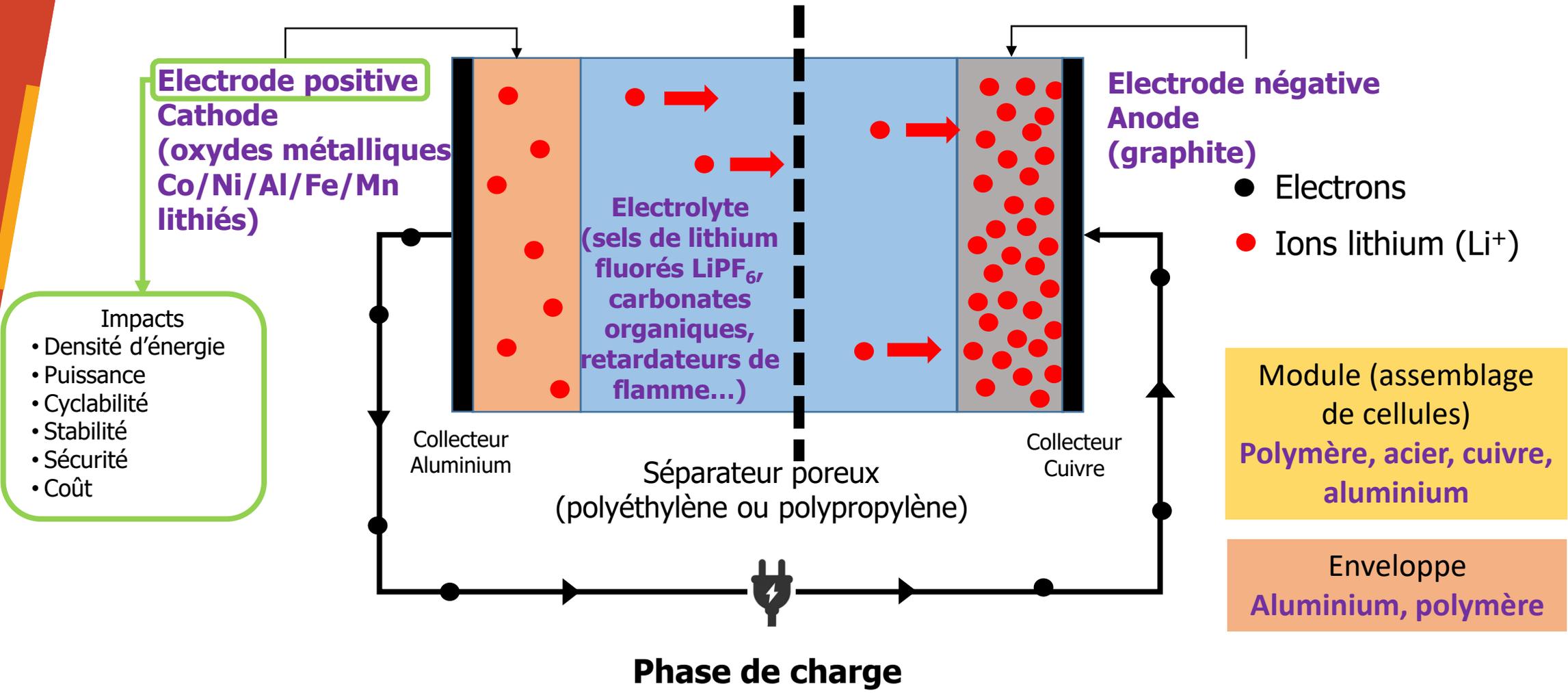
- De l'idée ...
 - Premier travaux dans les années 1970
 - Première commercialisation en 1991
 - Prix Nobel de chimie 2019

- ... à la technologie dominante
 - Densité d'énergie élevée (~ 300 Wh/kg)
 - Faible auto décharge
 - Durée de vie (nombre de cycles) élevée
 - Densité de puissance élevée possible
 - Prix divisé par plusieurs dizaines depuis 2000



Source : Nkemb, A.A et al. Comprehensive Review of Energy Storage Systems Characteristics and Models for Automotive Applications. *Batteries* 2024, 10, 88.

Composition d'une cellule (Li-ion)



Technologie – « chimie »

- Lithium ionique (Li-ion : électrolyte liquide / Li-Po : électrolyte polymère)
 - « Chimie » batterie Li-ion = oxydes métalliques de la cathode
 - NMC : lithium-nickel-manganèse-cobalt → mobilité et applications portatives
 - LFP : lithium-fer-phosphate → mobilité
 - NCA : lithium-nickel-cobalt-aluminium → mobilité (dont Tesla)
 - LCO : lithium-cobalt oxyde → applications portatives : smartphones, ordinateurs...
 - LMO : lithium-manganèse oxyde → mobilité et applications portatives
- Lithium métal (exemple : LMP : lithium métal polymère) → Bluecar/Bluebus Bollore
 - Problématique différente (anode en lithium métallique) : feu de métaux
 - Ne concerne pas les batteries courantes et la petite mobilité

Différents types de cellules

- Cellules **cylindriques**

- Enveloppe résistante
- Capacité énergétique limitée 2-3 Ah (nombre important à assembler)
- Vélos, trottinettes, ordinateurs, outillage, véhicules



- Cellules **poches** (pouch)

- Enveloppe fragile mais modulable
- Capacité énergétique importante 20-40 Ah
- Téléphones, véhicules



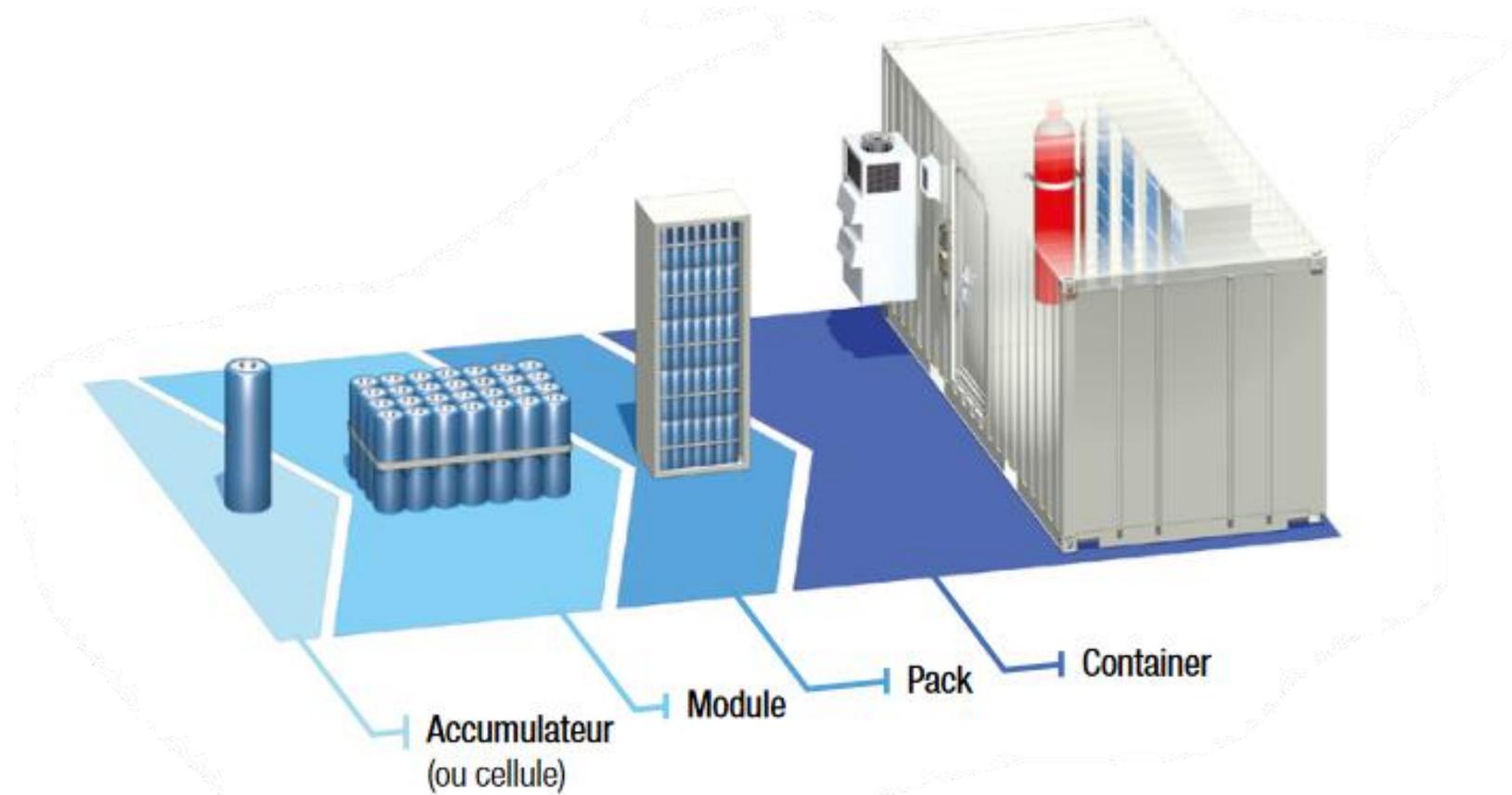
- Cellules **prismatiques**

- Enveloppe la plus résistante
- Très grande capacité énergétique 100-300 Ah
- Applications industrielles, véhicules



Batterie

- Batterie : constituée d'accumulateurs assemblés en série et/ou parallèle



Caractéristiques essentielles de la batterie

- Tension nominale (V) : tension moyenne pendant la décharge
- Capacité (Ah ou Wh) : quantité d'énergie électrique pouvant être stockée

	Tension nominale (V)	Capacité nominale (Ah)	Poids (kg)	Nombre de cellules
Cellule unitaire	3,2 – 3,7	2,2 – 3,9	0,02 – 0,05	–
Ordinateur portable	11 – 15	2,6 – 5,2	0,2 – 0,5	3 – 8
Outillage électroportatif	12 – 48	2 – 12	0,2 – 1	10 – 40
Vélo électrique	24 – 48	10 – 20	3 – 8	10 – 50
Véhicule électrique	300 – 500	100 – 250	300 – 600	200 – plusieurs milliers
Container de stockage	600 – 800	1000 – 2000	14 000 – 19 000	Non limité <i>a priori</i>

- BMS (Battery Management System) : gestionnaire de la batterie
 - Assure des fonctions de sécurité, notamment gestion de la charge
- Dispositifs de sécurité passifs
 - Événement, dissipation thermique...

Quelques mythes



- Feu de batterie Li-ion = feux de métaux ?
 - Non pour les batteries courantes, métaux déjà oxydés
 - Ce sont les vapeurs d'électrolyte qui brûlent

- Confusions courantes
 - Batterie Plomb
 - Batterie Ni-Mh
 - Pile « lithium »

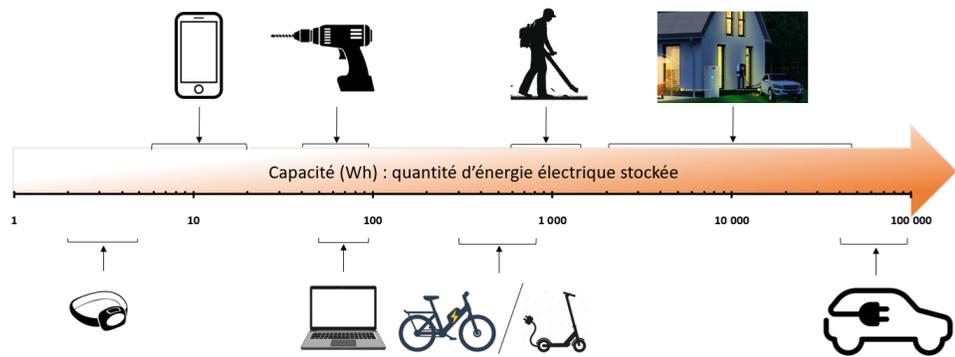


Petite mobilité électrique

- Contexte réglementaire pour l'employeur
 - Aucune disposition n'oblige les entreprises à aménager ou installer des bornes de recharge pour la petite mobilité
 - L'installation de bornes de charge peut s'inscrire dans le cadre des négociations annuelles sur la qualité de vie au travail
 - L'employeur est fondé à :
 - Autoriser ou non la charge et l'entreposage de batteries des équipements personnels sur le lieu de travail, notamment si il estime que cela constitue un risque
 - Autoriser la charge et l'entreposage des batteries uniquement dans des endroits dédiés dont il aura défini les prescriptions de sécurité

Petite mobilité électrique

- Batteries intermédiaires de 100 à 1 kWh, capacité supérieure aux petits appareils portables
 - Conséquences plus importantes en cas de dysfonctionnement

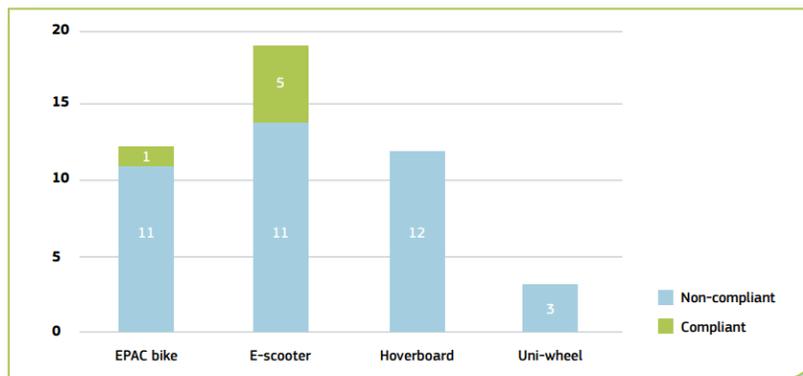


Source : LinkedIn London Fire Brigade

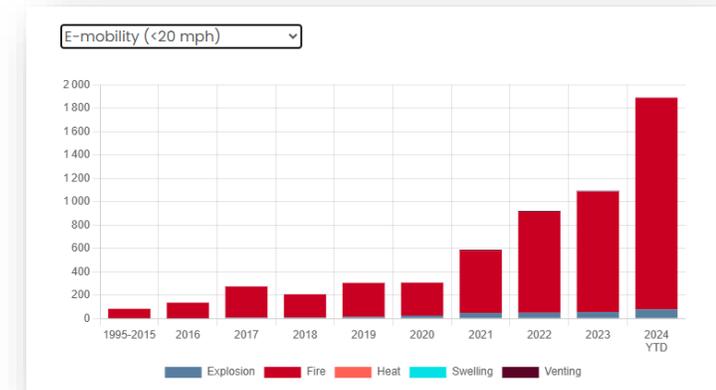
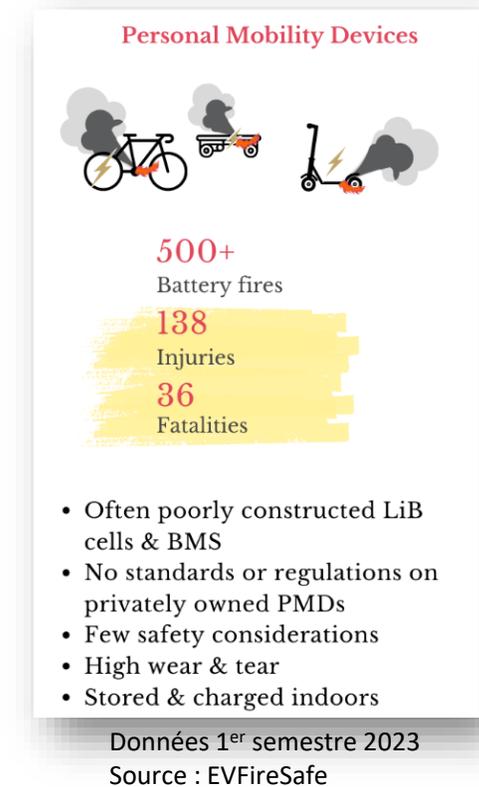
Probabilité	LOW	MEDIUM	HIGH
	LOW	MEDIUM	MEDIUM
	LOW	LOW	LOW
	Sévérité →		

Petite mobilité électrique

- Probabilité de défaillance
 - Qualité inhomogène (exigences norme produit, conformité, imports directes, modifications, batteries de remplacement) – sources : [rapport 2024 UK](#) / [Rapport 2019 CASP UE](#)
 - Occurrence en forte croissance – source : [UL](#) / [EVFireSafe](#)



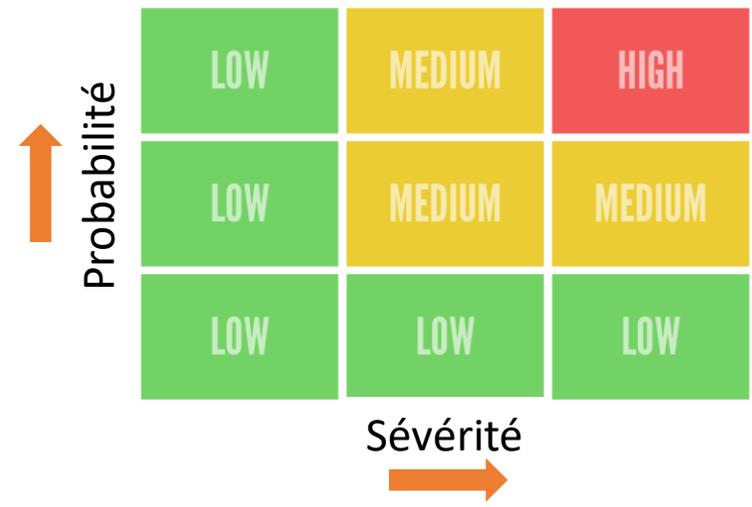
Source : UE



Source : UL

Petite mobilité électrique

- Risque



Category	Smaller Devices	Personal Mobility Devices (PMD)	Utility Task Electric Vehicle (UTEV)	Road Registered EV (EVs)	Battery Energy Storage Systems (BESS)
OEM guidance	No ERG	No ERG	No ERG	Most ERGs available	Most ERGs available
Risk	Low risk	High risk	Moderate risk	Very low risk	Very low risk



Risques liés aux batteries & Mesures de prévention

Principaux risques

- Electrique : ne concerne pas les batteries petites et intermédiaires
 - Seuils habilitation électrique
 $U > 60 \text{ V c.c.}$ ou $C > 180 \text{ Ah}$
- Chimique
- Incendie/explosion

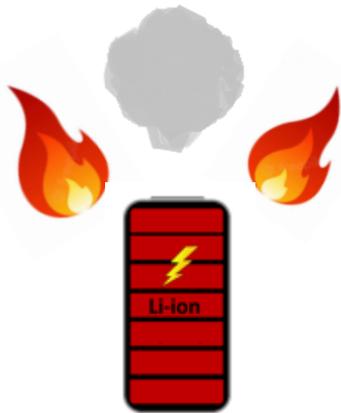


Risque chimique

Risque chimique ... si dysfonctionnement



- Fonctionnement normal : risque chimique très limité



- Dysfonctionnement : risque chimique
 - Contact cutané suite à fuite d'électrolyte
 - Inhalation de gaz et de particules

Emissions gazeuses et particulaires

Dysfonctionnement

- Sans combustion
 - 45 % de carbonates organiques
 - 50 % d'oxydes de carbone
 - 2 % d'hydrocarbures (méthane, éthylène...)
 - 1 % de dérivés fluorés (fluorure d'hydrogène, fluorure de phosphoryle...)
 - d'autres composés tels des oxydes d'azotes, des aldéhydes... en très faibles teneurs
- Avec combustion
 - 96 % de dioxyde de carbone
 - 2 % de carbonates organiques
 - 1 % de monoxyde de carbone
 - Oxydes d'azote, fluorure d'hydrogène, fluorure de phosphoryle...
- Particules métalliques dans les fumées : Co, Mn, Ni, Li, Al...

Principaux effets sur la santé

- Inhalation

Exemples de substances émises	Principaux effets toxiques
Monoxyde de carbone	Asphyxie, toxicité par inhalation, reprotoxicité
Dioxyde de carbone	Asphyxie, toxicité par inhalation à fortes concentrations
Oxydes d'azote (NO, NO ₂)	Irritation
Fluorure d'hydrogène	Toxicité par inhalation et par contact cutané, corrosif
Ethyl méthyl carbonate (EMC)	Irritation
Carbonate d'éthylène (EC)	Irritation
Formaldéhyde	Toxicité par inhalation, contact cutané et ingestion ; irritation ; allergie cutanée ; mutagénicité ; cancérogénicité
Nickel et oxydes de nickel	Allergie cutanée ; cancérogénicité
Cobalt et oxydes de cobalt	Allergies cutanée et respiratoire ; cancérogénicité ; reprotoxicité ; mutagénicité
Particules micrométriques LiFePO ₄ , LiCoO ₂ , Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	Toxicité pulmonaire expérimentale : inflammation, stress oxydant, fibrose (LiCoO ₂) ; mutagénicité (LiCoO ₂)



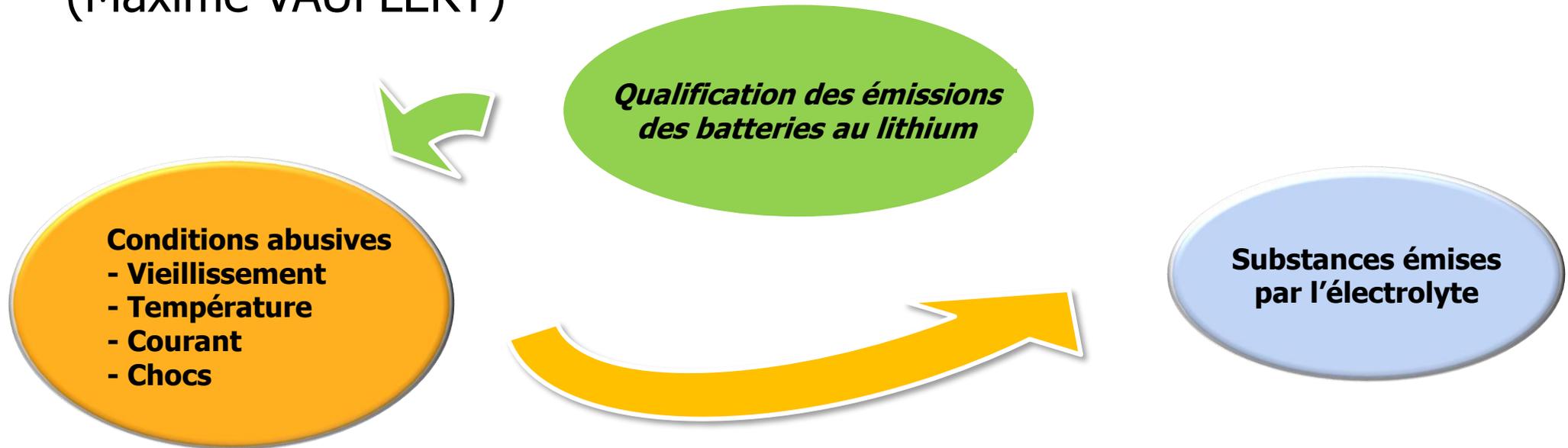
- Contact cutané

Exemples de substances émises	Principaux effets toxiques
Ethyl méthyl carbonate (EMC)	Irritation
Carbonate d'éthylène (EC)	Irritation
LiPF ₆	Corrosif
Acide fluorhydrique	Corrosif, toxicité par contact cutané



Etude INRS

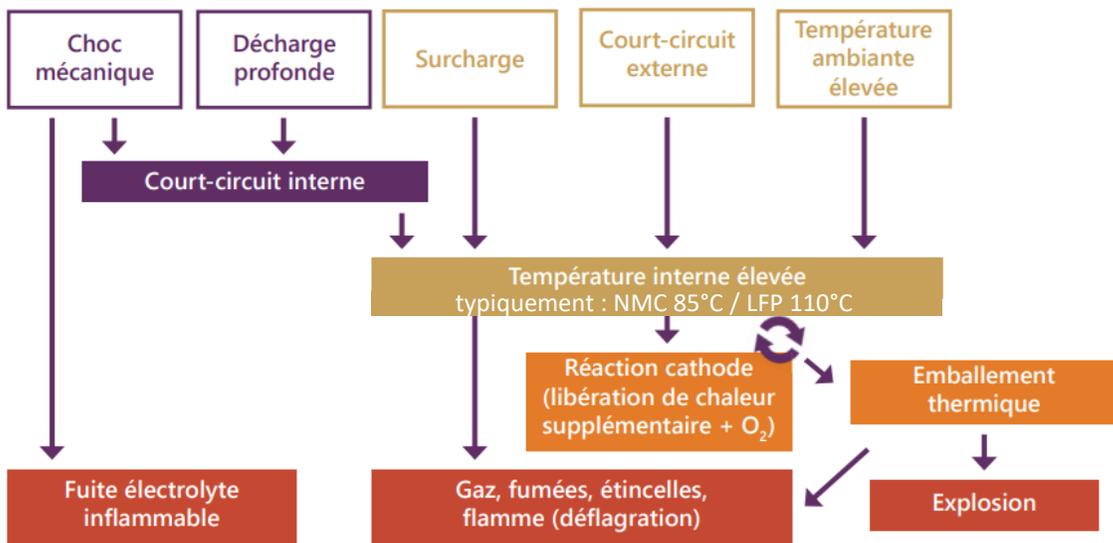
- Etude en 2022-2025 sur les émissions provenant de batteries au lithium (Maxime VAUFLERY)



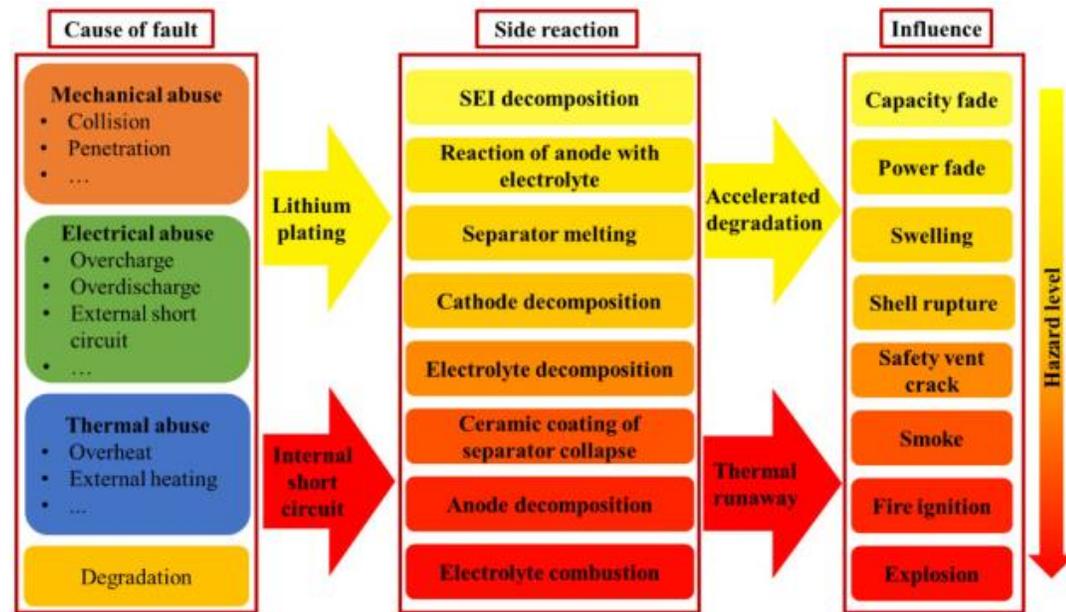
- Cellules cylindriques LFP et NMC
- 1^{ers} résultats
 - Electrolyte : < 10 substances (dans la littérature)
 - Détecté et identifié : plus de 50 substances de toxicité très variables

Risque incendie/explosion

Risque incendie/explosion



Adapté de CNPP – Livre blanc batteries électriques et mobilité

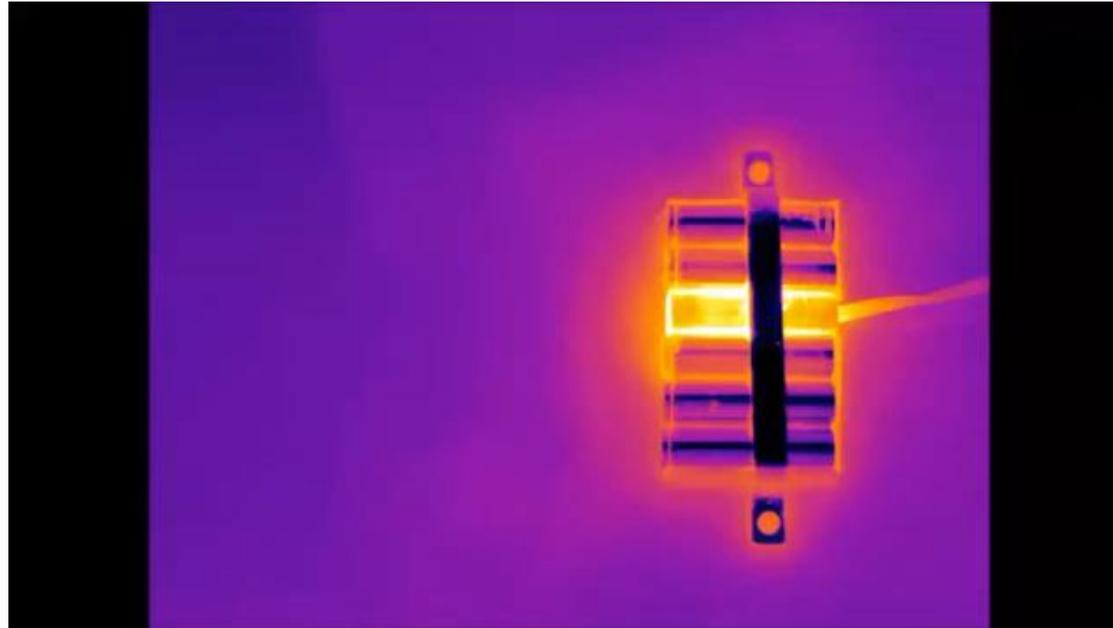


Source : Yishu Qiu, Fangming Jiang, *A review on passive and active strategies of enhancing the safety of lithium-ion batteries*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022

Mécanisme d'un feu de batterie au lithium



- Phénomènes déclencheurs (choc, court-circuit...)
- Emballement thermique localisé et propagation aux cellules adjacentes
- Important dégagement de chaleur
- Augmentation de la pression interne
- Dégagement important de gaz toxiques et inflammables
- Inflammation des gaz



Source : Youtube - George Brilmyer

Emissions gazeuses

Emballage thermique

- Principaux gaz combustibles
 - 10-20 % CO
 - 20-30 % H₂
 - 10-20 % d'hydrocarbures (méthane, éthylène...)

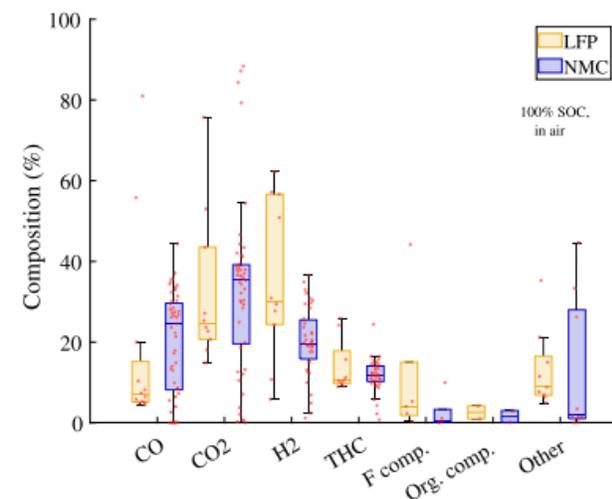


Fig. 13. Gas composition for LFP and NMC abused LIBs at 100% SOC in air. (The number of values in each category are Gas [LFP, NMC]: CO [12, 49], CO₂ [10, 49], H₂ [10, 39], THC [9, 39], F containing compounds [5, 5], organic compounds [2, 2] and other [9, 9].)

Source : Bugryniec et al., *Review of gas emissions from lithium-ion battery thermal runaway failure — Considering toxic and flammable compounds*, Journal of Energy Storage, 2024

- Jusqu'à 0,76 L/Wh (NCA) ou 0,27 L/Wh (LFP)
- Petit électroportatif : 30-100 Wh / Vélo électrique : 300-800 Wh

Emballlement thermique

- Risque pendant l'emballement thermique
 - Importantes émissions de gaz et fumées
 - Jets enflammés
 - Projections de débris enflammés (étincelles, cellules...)
 - En environnement confiné/mal ventilé : risque d'explosion



Source : IFAB

- Vélo électrique 1 MW en 1 min
- 1 MW -> équivalent à une nappe d'essence de 0,7 m par 0,7 m

Prévenir le risque

- Risque « émergent » et très particulier, parfois sans approche stabilisée en prévention
- Evolution des usages
- Evolution rapide de la technologie

Lithium-ion Battery Fires

- Lithium-ion Battery (LiB) fires pose unique hazards in terms of:

-  **Unusual Initiation**
-  **Higher Toxicity**
-  **Longer Duration**
-  **Faster Spread**
-  **Harder Suppression**

Source : Imperial College London

➤ Analyse de risque

Prévenir le risque – batteries intermédiaires

- Formation et sensibilisation
- Charge conditions adaptées + consignes
 - Chargeur prévu pour l'appareil
 - Temps de charge et températures entre 10 °C et 25 °C
- Stockage longue durée
 - Niveau de charge < 50 %
 - Attention : pas de décharge complète
- Isoler le risque (emplacement de charge, entreposage)
 - Limiter la propagation du feu
 - Permettre l'évacuation en sécurité
 - Faciliter l'intervention des secours



Mesures préconisées pour des batteries intermédiaires en quantité limitée.
Toute autre situation doit faire l'objet d'une **analyse de risque** et d'une adaptation des mesures.



Ne pas entreposer et charger les batteries dans les dégagements

Une solution pour isoler le risque : local ou armoire

- Caractéristiques essentielles
 - Emplacement dédié et adapté
 - Ventilation en fonctionnement normal (maîtrise de la température)
 - Détection du départ de feu et alerte (en fonction du contexte)
 - Résistance au feu (à minima intérieur vers extérieur 1h / résistance extérieur vers intérieur si nécessaire)
 - Gestion de la surpression (grande quantité de gaz + combustion)
 - Coupure énergie automatique ou en dehors de l'armoire / du local
 - Installation électrique : circuits dédiés correctement dimensionnée et protégées par des dispositifs différentiels adaptés

Une solution pour isoler le risque : local ou armoire

- Emplacement de l'armoire de charge
 - Pas dans les dégagements ou a proximité de postes de travail
 - Gestion des gaz : nécessité de les évacuer (surpression) vs risque d'exposition
 - Rediriger les gaz vers l'extérieur
 - Les gérer au niveau du local (ventilation)
 - Inflammation possible des gaz en sortie d'évent ou de ventilation
 - Facilement accessible et déplaçable par les secours

Local ou armoire de charge/entreposage

- Limites
 - Résistance au feu : feu réel de batterie lithium vs feu normalisé ?
 - Gestion de la surpression : pas normalisé, peu d'info sur les solutions retenues et le dimensionnement, quid d'une inflammation retardée (inflammation du nuage de gaz correspondant au volume de l'armoire) ?
 - Extinction automatique en armoire : efficace en cas de départ de feu électrique uniquement, mais pas en mesure de gérer l'emballement thermique de la batterie. Risque d'inflammation retardée ?

Repérer et intervenir

- Signes précurseurs
 - Gonflement
 - Sifflements (dégagement de gaz)
 - « Pop » (éclatement des cellules)
 - Ecoulement d'électrolyte (percement de la batterie)
- Eteindre les flammes ne suffit pas !
 - L'emballement thermique continue dans la batterie
- Solution d'intervention
 - Refroidissement (grande quantité d'eau)
 - Protéger l'environnement pour empêcher la propagation du feuou
 - Laisser brûler dans une zone sécurisée



**Batteries de capacité intermédiaire :
première intervention déconseillée - risque important pour l'intervenant**

Moyens d'extinction

- Agents extincteurs
 - Poudre, CO₂, mousse : **inefficaces pour éteindre** un feu de batterie Li-ion
 - Eau, eau/additifs : envisageable pour refroidir/limiter propagation sur petites batteries
 - Extincteurs « li-ion » (AVD, F500) : quantité limitée, risque, efficacité ?
- **Eau** est un bon agent extincteur (sauf pour batteries LMP : laisser brûler)
 - Pour éteindre incendie mais également refroidir la source d'énergie
 - Efficace si possibilité de faire pénétrer l'eau dans la batterie
 - Très grande quantité d'eau (30 000 litres VEH / 10 000 litres VT)
- Immersion
 - Manutention délicate
 - Formation de gaz inflammables (H₂)
 - Traitement de l'eau
 - Reprise d'incendie à la sortie

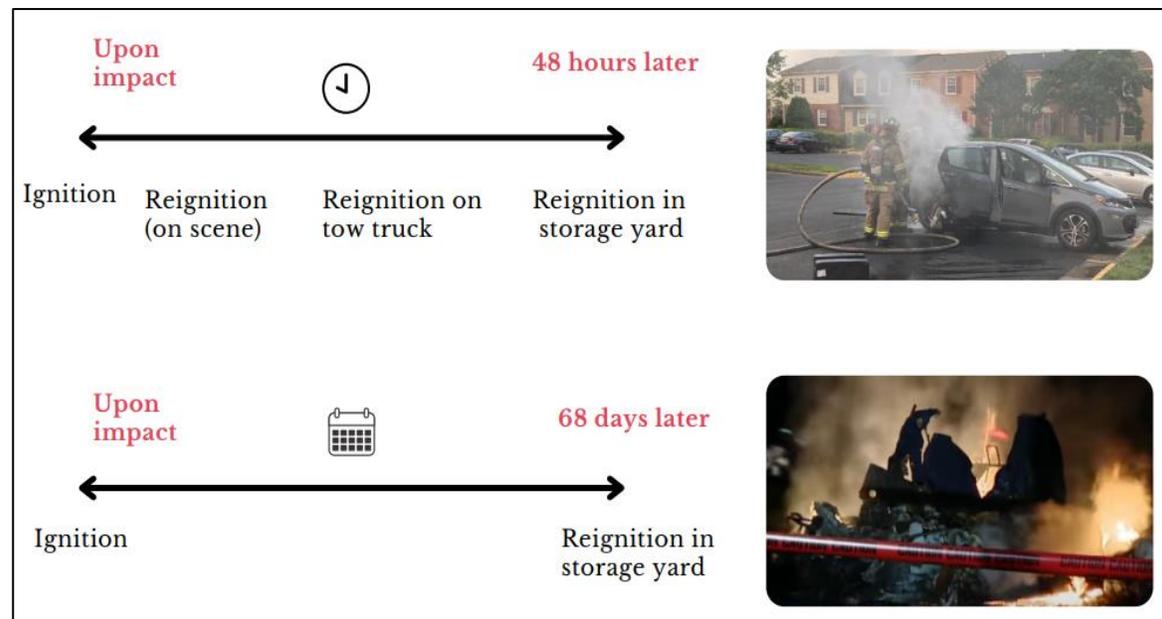
Risque de reprise de l'emballement thermique



Reprise de l'emballement thermique possible suite à première extinction (environ 10 % des cas)



Image: @J__Squared



Evfiresafe.com

Batterie usagée/ endommagée

Batteries endommagées

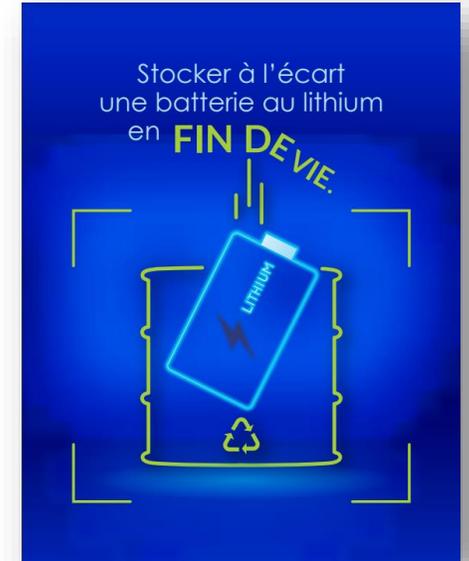
- Observation visuelle
 - Gonflée, déformée, écrasée
 - Percée, présentant un écoulement
- A l'utilisation
 - Batterie chauffant anormalement
 - Batterie ne tenant plus la charge (si non usagée)
- Pas d'immersion en préventif



Batterie endommagée peut être une batterie en cours d'usage, en fin de vie mais également une batterie neuve

Gestion des batteries usagées ou endommagées

- Ne pas charger une batterie endommagée
- Placer-la dans un sachet plastique, puis dans un bac incombustible, isolé électriquement et contenant un matériau inerte et sec (sable, vermiculite, etc.)
- Entreposer le bac dans un endroit ventilé à l'écart des autres batteries et des matières combustibles, idéalement en extérieur sous abri et éloigné des zones d'activité humaine
- Si besoin, transporter-la dans un emballage conforme à la réglementation « transport » en vigueur
- Faire reprendre dès que possible les batteries endommagées par une entreprise spécialisée



Manipulation de batteries endommagées

- En intérieur, sous ventilation générale
 - En extérieur, à l'abri des intempéries
- A l'écart de matériaux combustibles
- EPI (équipements de protection individuelle)
 - Vêtement de protection de type 3 (étanche aux liquides)
 - Gants de protection (risque chimique ou thermique ou électrique)
 - Ecran facial (projections et arc flash)
 - APR (appareil de protection respiratoire) équipé de filtre (gaz et vapeurs organiques, inorganiques, acides...)



anti-gaz ABEK

Manipulation/stockage de batteries endommagées

- Avoir à disposition



- Absorbant inerte (sable ou vermiculite) en cas de fuite, pour recouvrir un écoulement
- Douches de sécurité et/ou fontaines oculaires



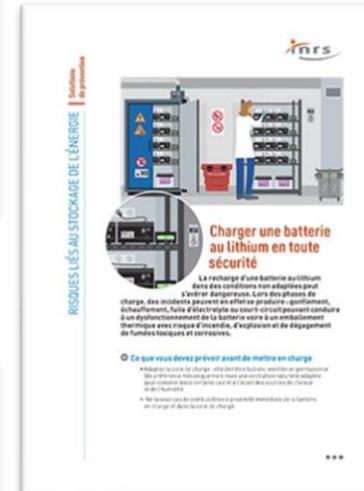
Conclusion et ressources INRS

Conclusion

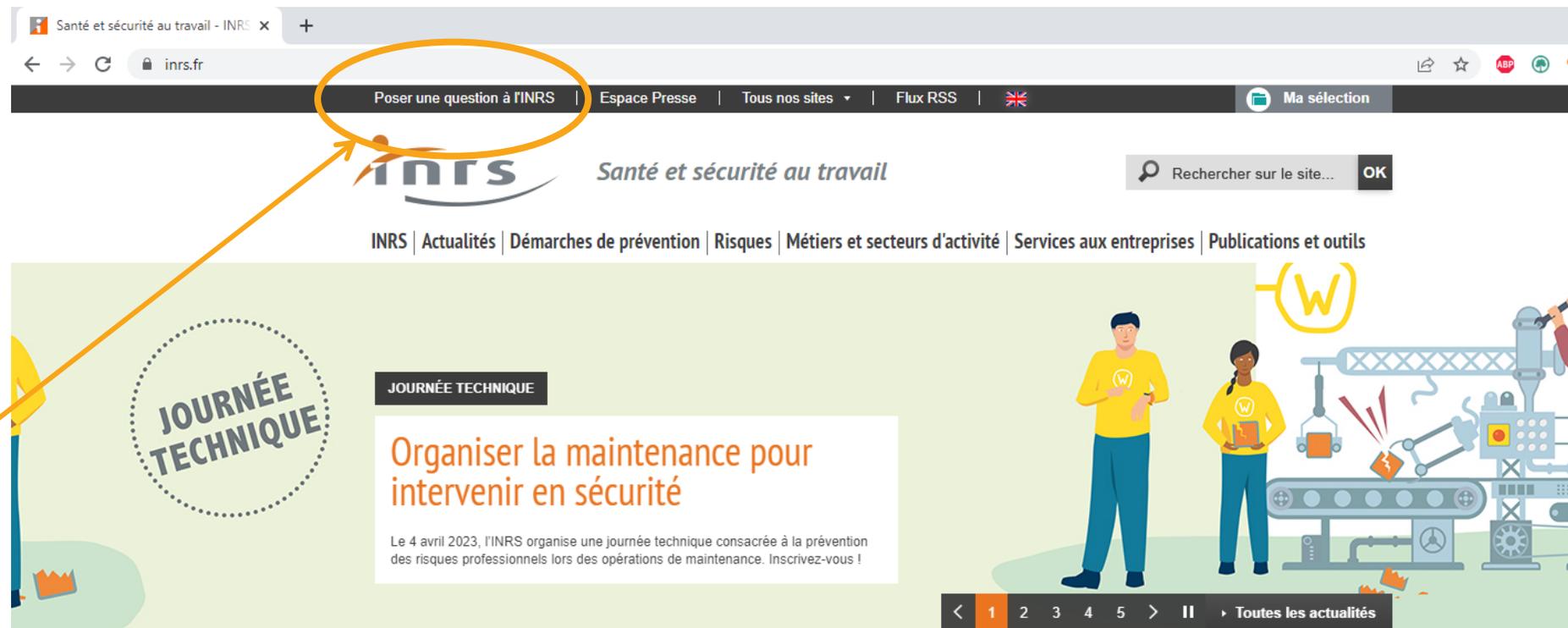
- Défaillance batterie lithium
 - Phénomène peu fréquent mais conséquences élevées
 - Risque spécifique et nouveau : **revenir à l'analyse de risque**
- Petite mobilité
 - Pas d'obligation de points de charge sur les lieux de travail
 - **Risque plus important** que pour les autres équipements
- Prévention
 - **Ne pas charger dans les dégagements** ou à proximité
 - Bonnes pratiques de charge (chargeur adapté, batterie en bonne état...)
 - Batterie intermédiaire : **première intervention déconseillée**
 - **Isoler le risque**

Nos produits d'information sur les batteries

- [Portail batteries lithium du site de l'INRS](#)
- [Les batteries au lithium. Connaître et prévenir les risques \(ED 6407\)](#)
- Fiches solutions de prévention
 - [Charger une batterie au lithium en toute sécurité](#)
 - [Se protéger contre les batteries au lithium endommagées](#)
- [Webinaire - Batteries au lithium : connaître et prévenir les risques](#)
- [Journée technique - Batteries Lithium : Tous utilisateurs, tous acteurs de la prévention](#)



Et toujours ... www.inrs.fr



Poser une question à l'INRS

ET AUSSI...

DOSSIER



Risques chimiques
Repérer les produits, les mélanges ou les procédés chimiques dangereux, c'est la première étape pour

BROCHURE



Risques psychosociaux. S'informer pour agir
Ce catalogue vous propose l'essentiel des productions de l'INRS sur la réduction des risques

BROCHURE



Les risques biologiques sur les lieux de travail
Cet aide-mémoire présente les principales

Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



www.inrs.fr

YouTube

