RECORD

ETUDE N° 24-0179/1A

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

ÉVALUATION ET GESTION DES RISQUES LIES A LA FIN DE VIE DES BATTERIES LITHIUM-ION

RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF END-OF LIFE LITHIUM-ION BATTERIES

Décembre 2025

G. LAMEH, I. AUDI – LGI Sustainable Innovation
M. EL HOUSSAMI, V. DREAN – Efectis

Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.
Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.
Les membres de ce réseau (groupes industriels et institutionnels) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :
Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.
Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :

  RECORD, Évaluation et gestion des risques liés à la fin de vie des batteries Lithium-Ion, 2025, 133p, n°24-0179/1A

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de la transition écologique) www.ademe.fr

© RECORD 2025

RESUME

La gestion de la fin de vie des batteries lithium-ion représente un enjeu majeur en matière de sécurité industrielle, de santé publique et de protection de l'environnement. Les risques identifiés concernent principalement l'incendie, l'explosion, la toxicité des émissions et la pollution des milieux, amplifiés par des pratiques de tri, stockage et transport encore souvent inadaptées. Les causes récurrentes incluent la mauvaise orientation des batteries vers les filières appropriées, des stocks excessifs mal isolés, des systèmes de détection et d'extinction insuffisants, ainsi qu'une préparation limitée des services de secours. La montée en puissance des volumes à traiter accentue ces enjeux : d'ici 2035, le gisement européen de batteries usagées atteindra 58 à 150 GWh pour les véhicules électriques et 17 à 30 GWh pour la petite mobilité, avec une diversification croissante des chimies (LFP, NMC, Na-ion, LMFP). Sans adaptation des infrastructures et des réglementations, le nombre d'accidents liés aux batteries en fin de vie pourrait dépasser 2 000 cas annuels en Europe à l'horizon 2030.

La présente synthèse met en lumière plusieurs leviers permettant de réduire ces risques, à travers l'analyse de l'état de l'art, des retours d'expérience et des entretiens avec des acteurs clés de la filière. Des recommandations opérationnelles visent à améliorer les pratiques de tri et de stockage, renforcer la formation des opérateurs et des pompiers, développer des guides techniques et sensibiliser le grand public. Des recommandations transverses portent sur la normalisation et la standardisation des batteries, l'harmonisation réglementaire au niveau européen, l'intégration des nouvelles chimies dans les cadres existants, ainsi que le soutien à la recherche sur la propagation thermique et les systèmes de détection innovants.

En combinant diagnostic des risques et solutions préventives, cette synthèse souligne la nécessité d'une approche intégrée associant acteurs industriels, institutionnels et de secours. Une telle démarche est essentielle pour maîtriser les dangers liés à la fin de vie des batteries lithium-ion et accompagner en sécurité la transition énergétique et la mobilité durable.

MOTS CLÉS : Batteries lithium-ion, fin de vie, risques chimiques, toxicologiques, physiques et environnementaux, incendie, explosion, toxicité, tri, stockage, transport, recyclage, réutilisation, petite mobilité, véhicules électriques, prévention, sécurité, réglementation, économie circulaire.

SUMMARY

The end-of-life management of lithium-ion batteries is a major challenge for industrial safety, public health, and environmental protection. The main risks identified include fire, explosion, toxic emissions, and environmental pollution, which are exacerbated by inadequate sorting, storage, and transport practices. Recurring causes include the misdirection of batteries to improper treatment channels, excessive and poorly segregated stockpiles, insufficient detection and fire suppression systems, and limited preparedness of emergency services. The rapid increase in waste volumes further intensifies these challenges: by 2035, the European stock of end-of-life batteries is expected to reach 58–150 GWh for electric vehicles and 17–30 GWh for light electric mobility, with growing diversity in chemistries (LFP, NMC, Na-ion, LMFP). Without adaptations in infrastructure and regulation, the number of incidents linked to end-of-life batteries in Europe could exceed 2,000 per year by 2030.

This extended abstract identifies key levers to mitigate these risks, based on a review of the state of the art, lessons learned from past incidents, and interviews with stakeholders across the value chain. Operational recommendations include improved sorting and storage practices, enhanced training for operators and firefighters, the development of technical guidelines, and public awareness campaigns. Cross-cutting recommendations focus on the standardization and harmonization of batteries, regulatory alignment at the European level, the integration of new chemistries into existing frameworks, and support for research on thermal propagation and innovative detection systems.

By combining risk assessment with preventive measures, this extended abstract highlights the need for an integrated approach involving industrial, institutional, and emergency response actors. Such a framework is essential to ensure safe management of end-of-life lithium-ion batteries and to support the energy transition and sustainable mobility.

KEY WORDS : lithium-ion batteries, chemical risks, toxicological risks, physical risks, environmental risks, fire, explosion, toxicity, sorting, storage, transport, recycling, reuse, light electric mobility, electric vehicles, prevention, safety, regulation, circular economy

Contexte de l'étude

L'électrification rapide du secteur des transports constitue aujourd'hui un levier majeur de la transition énergétique et de la décarbonation de l'économie européenne. Les politiques publiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre favorisent une adoption croissante des véhicules électriques et des solutions de mobilité légère telles que les trottinettes, vélos, ou scooters électriques. Cette évolution, portée à la fois par les exigences réglementaires, l'innovation technologique et les attentes sociétales, s'accompagne d'une augmentation exponentielle du nombre de batteries lithium-ion en circulation.

Leur gestion en fin de vie soulève désormais des enjeux économiques, environnementaux et de sécurité industrielle d'une ampleur sans précédent. Ces batteries, à forte densité énergétique, contiennent des matériaux réactifs et des électrolytes inflammables qui, mal gérés, peuvent provoquer des incendies, des explosions ou des pollutions graves. La filière européenne du recyclage et de la réutilisation des batteries, encore en structuration, doit donc relever un double défi : maîtriser les risques tout en garantissant la valorisation des ressources critiques qu'elles contiennent.

C'est dans ce contexte que cette étude approfondie a été conduite afin d'évaluer les risques liés à la fin de vie des batteries lithium-ion. Son objectif est d'appuyer les acteurs publics et privés dans l'élaboration de pratiques sûres et durables, fondées sur une connaissance scientifique consolidée et sur les retours d'expérience du terrain.

Objectif et plan de l'étude

L'étude vise à évaluer les risques associés à la fin de vie des batteries lithium-ion et à proposer des mesures concrètes pour prévenir leurs impacts sur la santé, la sécurité et l'environnement. Elle s'intéresse particulièrement aux batteries issues des véhicules hors d'usage (VHU) et de la petite mobilité, en considérant l'ensemble des étapes de la chaîne de valeur : collecte, tri, stockage, transport, réutilisation et recyclage.

La démarche adoptée repose sur une combinaison d'analyses documentaires et de retours d'expérience. Une revue bibliographique approfondie a mobilisé les données de la base ARIA du Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (BARPI), des rapports récents de l'INERIS et du CNPP, ainsi que plusieurs bases internationales (OSHA, CSB, FEMA, eMARS). Des entretiens ont été menés avec des acteurs de la filière : éco-organismes (Corepile, Ecologic), opérateurs de traitement, constructeurs automobiles et organismes publics.

Cette double approche, scientifique et opérationnelle, a permis de dresser un panorama précis de la situation actuelle, d'identifier les causes récurrentes d'incidents et d'évaluer les lacunes existantes. Le travail s'est organisé autour de deux grands axes : l'établissement d'un diagnostic détaillé des risques, puis la formulation de recommandations pour améliorer la prévention et la gestion des situations critiques.

Principaux constats et enseignements

Accidentologie et typologie des risques

L'analyse met en évidence une accidentologie croissante et une diversité de risques exacerbée par l'augmentation du volume de batteries en circulation et par la fragmentation des pratiques de gestion. Entre 2014 et 2022, plus de 570 accidents ont été recensés en France dans les établissements relevant du code NAF 38 (collecte, traitement et élimination des déchets). Ces événements se concentrent principalement dans

Context of the study

The rapid electrification of the transport sector has become a key driver of the energy transition and the decarbonisation of the European economy. Public policies aimed at reducing greenhouse gas emissions are encouraging the growing adoption of electric vehicles and light electric mobility solutions such as e-scooters, bicycles, and electric scooters. This shift, driven both by increasingly stringent regulatory requirements and by accelerating technological innovation, as well as evolving societal expectations, is accompanied by an exponential increase in the number of lithium-ion batteries in circulation across Europe.

End-of-life management of these batteries now raises economic, environmental, and industrial safety challenges of unprecedented magnitude. These high-energy-density storage systems contain reactive materials and flammable electrolytes which, if improperly handled or poorly monitored, can lead to fires, explosions, or severe contamination of natural environments. As the European recycling and reuse sector for batteries is still in the process of structuring and scaling up, it faces a dual challenge: on the one hand, ensuring robust risk control, and on the other hand, guaranteeing the efficient recovery of the critical resources embedded in these batteries.

In this context, this in-depth study was undertaken to assess the risks associated with the end of life of lithium-ion batteries. Its objective is to support public and private stakeholders in developing safe and sustainable practices based on consolidated scientific knowledge and operational feedback from the field.

Objective and scope of the study

The study aims to assess the wide range of risks associated with the end of life of lithium-ion batteries and to propose concrete and actionable measures to prevent their impacts on health, safety, and the environment. It focuses particularly on batteries from end-of-life vehicles (ELVs) and small mobility devices, while considering all stages of the value chain: collection, sorting, storage, transport, reuse, and recycling.

The approach adopted combines documentary research and operational feedback. An in-depth literature review drew on data from the ARIA database managed by the Bureau for Analysis of Industrial Risks and Pollution (BARPI), recent reports from INERIS and CNPP, as well as several international databases (OSHA, CSB, FEMA, eMARS). Interviews were also conducted with key stakeholders in the sector, including producer responsibility organisations (Corepile, Ecologic), treatment operators, vehicle manufacturers, and public bodies.

This dual scientific and operational approach made it possible to develop a detailed overview of the current situation, identify recurring causes of incidents, and evaluate existing gaps. The work was structured around two main components: first, the establishment of a detailed risk diagnosis, and second, the formulation of recommendations to improve prevention and the management of critical situations.

Key findings and insights

Accident trends and risk typology

The analysis highlights a steady rise in the number of recorded incidents and an increasing diversity of risks,

les centres de tri, les plateformes de stockage et les unités de traitement, avec une forte saisonnalité observée durant les mois les plus chauds. Les épisodes caniculaires accroissent la probabilité d'incendie ou d'explosion (BARPI, 2023).

Les causes les plus fréquemment identifiées concernent le manque de tri en amont, les manipulations inadaptées (souvent au grappin ou lors du démontage), les courts-circuits liés à des modules endommagés, l'entreposage extérieur sans protection, ou encore des conditions de stockage trop denses. Ces facteurs sont à l'origine d'incendies parfois spectaculaires, provoquant des dégagements de fumées toxiques, la pollution des sols et des eaux, des évacuations de population et des pertes matérielles qui peuvent être très importantes. Les difficultés rencontrées par les services d'incendie et de secours, confrontés à des installations parfois non conformes ou à des batteries mal identifiées, renforcent la gravité des conséquences.

Nature et ampleur des risques

Les risques identifiés se répartissent en quatre grandes familles interdépendantes : physiques, chimiques, toxicologiques et environnementaux.

Les risques physiques regroupent d'abord les dangers électriques. Même en fin de vie, une batterie lithium-ion conserve une tension résiduelle pouvant dépasser plusieurs centaines de volts, suffisante pour provoquer une électrisation ou une électrocution lors d'un contact direct ou d'une mauvaise manipulation. Les opérations de démontage, de broyage ou de tri mécanisé constituent des situations particulièrement sensibles, surtout lorsque les protections isolantes sont endommagées. Le contact avec l'eau, en cas de stockage non étanche ou lors d'une intervention d'extinction, accentue ces risques en favorisant la formation d'arcs électriques.

Le risque thermique constitue un enjeu majeur. L'emballement thermique, souvent déclenché par un court-circuit interne, une surchauffe ou un choc mécanique, entraîne une montée en température rapide et la libération d'une grande quantité d'énergie. Ce phénomène peut se propager de cellule en cellule et, à l'échelle d'un module ou d'un pack complet, provoquer des incendies d'une intensité extrême. Les températures mesurées peuvent dépasser 800 °C, rendant toute intervention difficile et risquée.
Les atmosphères explosives (ATEX) sont un danger significatif. Lorsqu'une batterie entre en emballement thermique, elle libère des gaz tels que l'hydrogène, le monoxyde de carbone et les hydrocarbures légers. L'hydrogène a une énergie d'inflammation très faible et un domaine d'explosivité très large. Si ces gaz s'accumulent dans un espace clos, ils peuvent générer une explosion. À cela s'ajoute le risque de projections : la rupture des enveloppes de batteries et la présence de métaux en fusion peuvent propulser des fragments à haute température, endommager les équipements environnants et blesser le personnel.

Les risques chimiques proviennent principalement des émissions de gaz toxiques lors d'un incendie ou d'un emballement thermique. Une batterie lithium-ion libère alors un mélange complexe de composés, fluorure d'hydrogène (HF), chlorure d'hydrogène (HCl), monoxyde de carbone (CO), solvants organiques, hydrocarbures, dont certains sont corrosifs ou asphyxiants. Le volume total de gaz dégagé dépend de la chimie et de l'état de charge de la batterie. À pleine charge, une cellule peut émettre jusqu'à 1,5 L de gaz par ampère-heure, dont une partie est inflammable. Ces émissions constituent un double danger : elles favorisent la propagation du feu et exposent les travailleurs à des substances toxiques (Gully, 2019).

exacerbated by the growing volume of batteries in circulation and the fragmentation of management practices. Between 2014 and 2022, more than 570 accidents were recorded in France within facilities classified under NAF code 38 (waste collection, treatment, and disposal). These incidents are concentrated mainly in sorting centres, storage platforms, and treatment facilities, with strong seasonality observed during the warmer months. Heatwaves tend to increase the likelihood of fires or explosions (BARPI, 2023).

The most frequently identified causes include a lack of proper sorting upstream, inadequate handling practices (often involving mechanical grapples or occurring during dismantling), short circuits linked to damaged or punctured modules, outdoor storage without adequate protection, and overly dense storage conditions. These factors have led to sometimes spectacular fires, releasing toxic fumes, contaminating soil and water resources, causing the evacuation of nearby populations, and resulting in significant material losses. The challenges faced by fire and emergency services, which must sometimes deal with non-compliant facilities, insufficient safety measures, or poorly identified batteries, further aggravate the severity of such incidents.

Nature and magnitude of the risks

The identified risks fall into four interdependent categories: physical, chemical, toxicological, and environmental. Each of these dimensions contributes to a complex risk landscape that must be understood holistically to ensure safe end-of-life management.

Physical risks first include electrical hazards. Even at the end of their life, lithium-ion batteries retain residual voltage that can exceed several hundred volts, enough to cause electric shock or electrocution through direct contact or improper handling. Operations such as dismantling, shredding, or mechanical sorting are particularly sensitive, especially when insulating protections are damaged. Contact with water, either due to non-watertight storage or during firefighting operations, further increases the risk by promoting the formation of electrical arcs.

Thermal risk constitutes another major concern. Thermal runaway, often triggered by an internal short circuit, overheating, or mechanical shock, leads to a rapid rise of temperature and the release of large amounts of energy. This phenomenon can propagate from one cell to another and, at the level of a module or an entire battery pack, can give rise to extremely intense fires. Recorded temperatures can exceed 800°C, making any intervention extremely difficult and hazardous for emergency responders, even when protective equipment is used.

Explosive atmospheres (ATEX) represent an additional significant danger. When a battery undergoes thermal runaway, it releases gases such as hydrogen, carbon monoxide, and light hydrocarbons. Hydrogen, in particular, has a very low ignition energy and a wide explosive range. If these gases accumulate in an enclosed or poorly ventilated space, they can trigger sudden and violent explosions. Added to this is the risk of projectiles: the rupture of battery casings and the presence of molten metals can propel hot fragments at high velocity, damaging surrounding equipment and posing a direct threat to personnel.

Chemical risks mainly stem from the release of toxic gases during fires or thermal runaway. A lithium-ion battery emits a complex mixture of compounds such as hydrogen fluoride (HF), hydrogen chloride (HCl), carbon monoxide (CO), organic solvents, and hydrocarbons, some of which are

Les effets toxiques liés à ces émissions sont bien documentés. Par contact, l'électrolyte liquide, composé de carbonates organiques et de sels de lithium ($LiPF_6$), provoque des brûlures cutanées et oculaires sévères. Par inhalation, les vapeurs et fumées dégagées, notamment le HF et le CO, entraînent des irritations respiratoires, des troubles neurologiques et, à fortes doses, des atteintes létales. Les valeurs de référence publiées par l'INERIS et l'EPA montrent qu'une exposition de quelques dizaines de ppm de HF peut devenir dangereuse en moins de dix minutes. Les expositions chroniques, même à faibles concentrations, peuvent provoquer des atteintes respiratoires, articulaires ou osseuses irréversibles (INERIS, 2024).

Les impacts environnementaux sont également considérables. Les batteries endommagées peuvent libérer des électrolytes et des métaux lourds qui contaminent les sols et les eaux. Les eaux d'extinction issues des incendies contiennent souvent des polluants à des niveaux bien supérieurs aux limites réglementaires et nécessitent des traitements spécifiques avant rejet. Leur acidité élevée et la présence de composés fluorés ou de substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) accentuent le risque pour les milieux aquatiques (INERIS, 2024). Par ailleurs, le traitement insuffisant ou l'exportation non contrôlée des résidus de broyage, appelés « black mass », vers des pays tiers où les normes environnementales sont moins strictes, peut conduire à des rejets de poussières métalliques dangereuses et expose les travailleurs à des concentrations toxiques parfois plusieurs milliers de fois supérieures aux seuils légaux.

Tendances et perspectives européennes

Les projections européennes confirment une forte augmentation du gisement de batteries en fin de vie au cours des deux prochaines décennies. Selon Transport & Environment (2024), les volumes de batteries de véhicules électriques arrivant en fin de première vie pourraient atteindre 58 à 150 GWh en 2035 et jusqu'à 345 GWh en 2040. Pour la petite mobilité, les estimations se situent entre 42 et 52 GWh à la même échéance. Sans amélioration des infrastructures de collecte, de tri et de traitement, ces volumes croissants risquent de multiplier les incidents industriels et environnementaux. À l'échelle européenne, le nombre d'accidents pourrait passer de quelques milliers par an à des dizaines de milliers d'ici 2040 si les pratiques actuelles ne sont pas adaptées (RECORD, 2023).

Certains facteurs peuvent néanmoins atténuer cette tendance : amélioration des protocoles de sécurité, renforcement des exigences réglementaires, formation des opérateurs, automatisation du tri et du recyclage, ou encore diffusion du passeport batterie permettant une meilleure traçabilité. À l'inverse, d'autres éléments risquent d'aggraver les risques : absence de standardisation pour les batteries de petite mobilité, stockage inadapté, montée en puissance de nouvelles chimies encore peu maîtrisées comme le sodium-ion, vieillissement des batteries réemployées en stockage stationnaire, et persistance de filières informelles échappant aux contrôles.

Cadre réglementaire et normatif

Sur le plan réglementaire, le cadre européen demeure en évolution. Le règlement (UE) 2023/1542 introduit de nouvelles exigences en matière de durabilité, de traçabilité et de sécurité, mais certaines zones restent peu couvertes. Les normes existantes (EN, ISO, UL) concernent surtout les batteries neuves et ne prennent pas systématiquement en compte la propagation thermique ni la diversité des chimies émergentes. Les kits de conversion pour vélos électriques ne sont encadrés par aucune norme spécifique, faute de définition harmonisée. De même, les critères d'évaluation de l'état de santé (SoH) pour les batteries réutilisées varient selon les fabricants et les usages, limitant la comparabilité et la fiabilité des diagnostics.

corrosive or asphyxiating. The total volume of gas released depends on the battery chemistry and its state of charge. At full charge, a single cell can emit up to 1.5 litres of gas per ampere-hour, part of which is flammable. These emissions present a dual hazard: they facilitate the spread of fire and expose workers and first responders to highly toxic substances (Gully, 2019).

The toxic effects of these emissions are well documented. Upon contact, the liquid electrolyte, composed of organic carbonates and lithium salts ($LiPF_6$), can cause severe skin and eye burns. Through inhalation, vapours and smoke, notably those containing HF and CO, can lead to respiratory irritation, neurological disorders, and, at high concentrations, may become fatal. Reference values published by INERIS and the U.S. EPA indicate that exposure to only a few tens of ppm of HF can become dangerous in under ten minutes. Chronic exposure, even at low concentrations, may cause cumulative and irreversible respiratory, joint, or bone damage (INERIS, 2024).

Environmental impacts are also significant. Damaged batteries can release electrolytes and heavy metals that contaminate soil, groundwater and surface waters. Firefighting runoff frequently contains pollutants at concentrations far above regulatory limits and therefore requires specific treatment before discharge. The high acidity of these waters and the presence of fluorinated compounds or per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) increase risks for aquatic environments and wastewater treatment systems (INERIS, 2024). In addition, inadequate treatment or uncontrolled export of shredded residues, known as "black mass," to third countries with weaker environmental standards can lead to the emission of hazardous metal dust and exposes workers to toxic concentrations that can exceed legal thresholds by several orders of magnitude.

European trends and outlook

European projections confirm a rapid increase in end-of-life battery volumes over the next two decades. According to Transport & Environment (2024), the number of electric vehicle batteries reaching their first end of life could range from 58 to 150 GWh by 2035 and rise to as much as 345 GWh by 2040. For light mobility devices, estimates lie between 42 and 52 GWh within the same period. Without significant improvements in collection, sorting, and treatment infrastructure, these growing volumes are likely to multiply industrial and environmental incidents. At the European level, the number of accidents could increase from a few thousand per year to several tens of thousands by 2040 if current practices remain unchanged (RECORD, 2023).

Several factors could, however, help mitigate this trend: the enhancement of safety protocols, tighter regulatory requirements, improved operator training, the automation of sorting and recycling processes, and the deployment of the battery passport to improve traceability. Conversely, other factors may worsen the risks: the absence of standardisation for light mobility batteries, inadequate storage conditions, the rise of new chemistries such as sodium-ion that are not yet fully mastered, the ageing of repurposed batteries used in stationary storage, and the persistence of informal channels that escape regulatory oversight.

Regulatory and standardisation framework

From a regulatory perspective, the European framework continues to evolve and adapt to the rapid expansion of the battery sector. Regulation (EU) 2023/1542 introduces new and more stringent requirements concerning sustainability,

Analyse, prévention et recommandation

Face à la diversité et à la gravité des risques identifiés, la prévention constitue un levier central pour assurer une gestion sûre et durable des batteries lithium-ion en fin de vie. Les analyses montrent que la majorité des incidents recensés pourraient être évités par une meilleure organisation des flux, une standardisation des procédures et une formation renforcée des opérateurs. L'objectif n'est pas seulement de limiter les accidents, mais d'instaurer une culture de prévention à chaque étape de la chaîne de valeur, depuis la collecte jusqu'au recyclage et au réemploi.

Mesures de prévention opérationnelles

La première priorité concerne la collecte et l'identification des batteries. Les retours d'expérience montrent que de nombreux incidents se produisent dès cette phase, en raison d'un tri défaillant ou d'une méconnaissance des types de batteries. Il est donc essentiel de renforcer la formation du personnel chargé de la collecte, notamment dans les déchetteries et les centres de regroupement. La reconnaissance visuelle des batteries lithium-ion, leur isolement des autres flux (piles alcalines, batteries au plomb) et l'identification des batteries endommagées ou gonflées doivent devenir des pratiques systématiques. Le recours à des contenants homologués, ventilés et résistants au feu, conformes aux instructions P911 ou LP906, constitue également une mesure de base indispensable.

La phase de tri et de démontage représente un autre point critique. Les opérations doivent être effectuées dans des zones dédiées, ventilées et dépourvues de toute source d'inflammation. Les travailleurs doivent être équipés de protections adaptées : gants isolants, visières, combinaisons antistatiques et appareils respiratoires lorsque le risque de dégagement gazeux est identifié. L'utilisation d'outils non conducteurs et la vérification préalable du niveau de charge des batteries réduisent significativement les risques électriques. De même, la mise en place de procédures standardisées pour l'extraction des batteries des véhicules ou d'appareils de petite mobilité limite les manipulations hasardeuses et les chocs mécaniques.

Le stockage constitue la phase où les risques d'incendie et d'emballement thermique sont les plus élevés. Plusieurs bonnes pratiques doivent être généralisées. L'îlotage des batteries permet de limiter la propagation d'un incendie en cas d'incident. Les locaux de stockage doivent être équipés de capteurs thermiques, de systèmes de vidéosurveillance et de dispositifs d'extinction automatique. Les matériaux utilisés (palettes, cloisons, revêtements) doivent présenter une résistance au feu adaptée. Il est aussi recommandé de maintenir un faible état de charge des batteries stockées (idéalement autour de 30%) et de contrôler régulièrement l'humidité et la température ambiante. Les distances de sécurité entre les piles de stockage doivent être suffisantes pour éviter toute propagation d'un feu par rayonnement thermique.

En matière de transport, la conformité au cadre réglementaire relatif au transport de matières dangereuses (ADR, RID, IMDG, OACI) reste essentielle. Les emballages doivent être étiquetés, étanches et conçus pour résister aux chocs. Le transport de batteries endommagées nécessite une autorisation spécifique et des contenants inertes (sable, vermiculite, granulat céramique) pour éviter les courts-circuits. La traçabilité des flux, du point de collecte à la destination finale, doit être assurée par des documents harmonisés, compatibles avec le futur passeport batterie européen.

traceability, and safety, but several areas remain insufficiently addressed. Existing standards (EN, ISO, UL) primarily apply to new batteries and do not systematically consider thermal propagation phenomena or the diversity of emerging chemistries. Conversion kits for e-bikes, for example, are not covered by any specific standard due to the absence of a harmonised industrial definition. Similarly, criteria for assessing the state of health (SoH) of reused batteries vary between manufacturers and applications, limiting comparability and the reliability of diagnostics.

Analysis, prevention and recommendation

Given the diversity and severity of the identified risks, prevention is a central lever for ensuring the safe and sustainable management of end-of-life lithium-ion batteries. Analyses show that most recorded incidents could have been avoided through better flow organisation, the standardisation of procedures, and enhanced operator training. The objective is not only to reduce the number of accidents but also to establish a genuine culture of prevention at every stage of the value chain, from collection to reuse and recycling.

Operational prevention measures

The first priority concerns the collection and identification of batteries. Feedback from the field shows that many incidents occur at this early stage due to poor sorting practices or limited knowledge of battery types. It is therefore essential to strengthen the training of personnel involved in collection, particularly in waste collection centres and consolidation facilities. Visual identification of lithium-ion batteries, their separation from other waste streams (such as alkaline cells or lead-acid batteries), and the identification of damaged or swollen batteries must become systematic practices. The use of approved, ventilated, and fire-resistant containers, such as those compliant with P911 or LP906 instructions, is also an indispensable baseline measure.

The sorting and dismantling phase represents another critical point. Operations should be carried out in designated, ventilated areas free from any potential ignition sources. Workers must be equipped with appropriate protective gear: insulated gloves, face shields, anti-static clothing, and personal respiratory protection where gas emissions may occur. The use of non-conductive tools and the prior verification of the batteries' state of charge significantly reduce electrical risks. Similarly, implementing standardised procedures for removing batteries from vehicles or light mobility devices helps to limit hazardous handling and mechanical shocks.

Storage is the phase with the highest risk of fire and thermal runaway. Several good practices should be generalised. The segregation of batteries into isolated clusters helps to limit fire propagation in case of an incident. Storage areas must be equipped with thermal sensors, video surveillance, and automatic fire suppression systems. The materials used (pallets, partitions, coatings) should have adequate fire resistance. It is also recommended to maintain a low state of charge for stored batteries (ideally around 30%) and to regularly monitor humidity and ambient temperature. Safety distances between stacks must be sufficient to prevent the spread of fire through radiant heat.

Regarding transport, compliance with regulations on the transport of dangerous goods (ADR, RID, IMDG, ICAO) remains essential at every stepl. Packaging must be properly

Concernant la réutilisation et la seconde vie, un encadrement plus rigoureux est nécessaire. La multiplication des initiatives de reconditionnement, parfois en dehors de tout cadre normatif, crée des situations à risque. Il est recommandé de standardiser les méthodes d'évaluation de l'état de santé (SoH) des batteries avant leur réutilisation. Les batteries destinées à des applications stationnaires (BESS) doivent être soumises à des tests de performance et de sécurité équivalents à ceux des batteries neuves, notamment pour la propagation thermique et la résistance mécanique. Le regroupement de cellules d'origines différentes doit être proscrit, sauf si des dispositifs de gestion électronique (BMS) garantissent l'équilibrage et la compatibilité électrique.

Enfin, les procédures de recyclage requièrent elles aussi des précautions renforcées. Avant toute opération mécanique (déchiquetage, broyage, compactage), les batteries doivent être totalement déchargées et isolées. Les zones de traitement doivent être confinées, équipées de systèmes de captation des gaz et de filtration des poussières fines. Les rejets aqueux et les résidus solides doivent être contrôlés afin d'éviter toute contamination des milieux. Les procédés hydrométallurgiques et pyrométallurgiques doivent être encadrés par des mesures de prévention spécifiques, notamment pour le confinement des vapeurs acides et des métaux volatils.

Axes transversaux de renforcement

Au-delà des mesures propres à chaque étape, plusieurs recommandations transverses se dégagent pour structurer la prévention dans la filière. Le premier axe concerne le renforcement du cadre réglementaire et normatif. Les retours d'expérience montrent que de nombreuses normes existantes ne couvrent pas les situations réelles de fin de vie. Il est donc nécessaire d'introduire des exigences spécifiques sur la propagation thermique, la résistance au choc et la compatibilité entre modules. De nouvelles normes devraient également encadrer les kits de conversion et les batteries de nouvelle génération, notamment le sodium-ion et le lithium-métal. Une harmonisation européenne est souhaitable afin de garantir une approche cohérente entre États membres et d'éviter les disparités d'interprétation.

Le deuxième axe porte sur la formation et la sensibilisation. Les opérateurs, techniciens de maintenance, pompiers et agents de déchetteries doivent être formés aux risques propres aux batteries lithium-ion. Les modules de formation devraient aborder les aspects théoriques (mécanismes d'emballement, types de chimies) et pratiques (gestes sûrs, procédures d'urgence, premiers réflexes en cas d'incendie). Les collectivités locales et les éco-organismes ont également un rôle à jouer pour sensibiliser le grand public à la gestion domestique des batteries usagées, notamment en matière de tri et de dépôt en points de collecte agréés.

Le troisième axe relève de la recherche et de l'innovation. Le développement de capteurs de détection précoce, de matériaux non combustibles ou de procédés de recyclage à faible impact environnemental constitue une priorité. Les dispositifs de suivi en temps réel (capteurs de température, détection de gaz) intégrés aux zones de stockage peuvent prévenir la plupart des départs de feu. La recherche sur des électrolytes solides ou semi-solides, moins inflammables, ouvre aussi des perspectives prometteuses pour réduire intrinsèquement le risque.

Le quatrième axe concerne la traçabilité et la digitalisation. Le futur passeport batterie, qui deviendra obligatoire dans l'Union européenne, permettra de suivre le cycle de vie complet de chaque batterie, depuis sa fabrication jusqu'à son recyclage, et de partager les données entre fabricants, opérateurs de

labelled, sealed, and designed to withstand shocks and vibrations that occur during transit. The transport of damaged or compromised batteries requires specific authorisation and the use of inert packing materials such as sand, vermiculite, or ceramic granulate to prevent short circuits. End-to-end flow traceability, from the collection point to the final destination, must be ensured through harmonised documentation compatible with the forthcoming European battery passport, which will help standardise tracking practices.

Concerning reuse and second-life applications, stricter oversight is required. The proliferation of reconditioning initiatives, sometimes operating outside any established regulatory framework, has created potentially hazardous situations. It is recommended therefore to standardise methods for assessing the state of health (SoH) of batteries before reuse. Batteries destined for stationary energy storage (BESS) applications must undergo performance and safety tests equivalent to those required for new batteries, particularly regarding thermal propagation and mechanical resistance. The grouping of cells from different origins should be prohibited unless advanced electronic management systems (BMS) ensure proper balancing and electrical compatibility.

Finally, recycling procedures also require reinforced safety measures. Before any mechanical operation such as shredding, crushing, or compaction, batteries must be fully discharged and isolated. Treatment areas should be enclosed and equipped with dedicated gas extraction systems and fine-particle filtration units to limit worker exposure. Liquid effluents and solid residues must be rigorously controlled to prevent environmental contamination. Both hydrometallurgical and pyrometallurgical processes should be governed by specific preventive measures, notably to confine acidic vapours, volatile metals, and any hazardous compounds released during the thermal and chemical treatment phases.

Cross-cutting areas for improvement

Beyond the measures specific to each stage, several cross-cutting recommendations emerge to strengthen prevention throughout the battery value chain.

The first area concerns the enhancement of the regulatory and standardisation framework. Feedback from experience shows that many existing standards fail to cover real end-of-life situations. It is therefore necessary to introduce specific requirements addressing thermal propagation, impact resistance, and module compatibility. New standards should also cover conversion kits and next-generation batteries, such as sodium-ion and lithium-metal, that are still poorly integrated into existing frameworks. Greater harmonisation at the European level is desirable to ensure a consistent approach among Member States, avoid disparities in interpretation and provide clearer guidance to operators.

The second area relates to training and awareness. Operators, maintenance technicians, firefighters, and waste management personnel must be trained in the specific risks associated with lithium-ion batteries. Training modules should include both theoretical aspects (such as thermal runaway mechanisms and battery chemistries) and practical content (safe handling, emergency procedures, and first response to fires). Local authorities and producer responsibility organisations also play an important role in raising public awareness about the safe domestic management of used batteries, particularly regarding sorting and proper deposit at authorised collection points.

traitement et autorités de contrôle. Pour que ce dispositif soit efficace, il devra être interopérable avec les systèmes de gestion en place et s'appuyer sur des formats de données communs.

Enfin, un cinquième axe transversal concerne la coopération intersectorielle. La gestion des risques liés aux batteries lithium-ion implique une coordination étroite entre industriels, collectivités, régulateurs et services d'urgence. La mise en place de protocoles communs, de retours d'expérience partagés et de plans de réponse concertés en cas d'incident est un facteur déterminant pour la maîtrise des situations d'urgence.

Ces recommandations traduisent un constat central : les risques associés aux batteries lithium-ion ne peuvent être réduits efficacement qu'à travers une approche globale, intégrant à la fois la technique, la réglementation, la formation et la coopération. Le défi réside dans la mise en œuvre simultanée de mesures de prévention locales, adaptées aux réalités opérationnelles des sites, et de cadres stratégiques harmonisés à l'échelle européenne.

Conclusion

La montée en puissance des batteries lithium-ion dans la mobilité et le stockage de l'énergie impose une transformation profonde des pratiques industrielles et réglementaires. Les principaux risques (incendies, explosions, émissions toxiques et pollutions) sont désormais bien identifiés, mais leur prévention nécessite des investissements coordonnés dans les infrastructures, la formation et la recherche. La sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et la continuité des activités industrielles en dépendent directement.

Le déploiement d'outils comme le passeport batterie, l'amélioration des protocoles de tri et de stockage, l'harmonisation des normes et la montée en compétence des acteurs représentent des leviers concrets et accessibles à court terme. À moyen et long terme, l'innovation technologique et la coopération entre États membres permettront de consolider une filière européenne de la batterie plus sûre, plus durable et plus compétitive.

La maîtrise des risques liés aux batteries lithium-ion ne constitue donc pas seulement un impératif de sécurité, mais un pilier essentiel de la réussite de la transition énergétique. Garantir la sécurité de leur cycle de vie, de la fabrication au recyclage, revient à concilier progrès technologique, protection des personnes et préservation de l'environnement.

The third area concerns research and innovation. The development of early detection sensors for thermal runaway, non-combustible materials, and low-impact recycling processes should be a priority. Real-time monitoring systems (temperature and gas sensors) integrated into storage infrastructures can prevent most fire incidents. Moreover, research on solid or semi-solid electrolytes, which are less flammable, offers promising prospects for intrinsically reducing risks.

The fourth area focuses on traceability and digitalisation. The forthcoming European battery passport represents a major step forward. It will make it possible to track the entire lifecycle of each battery, from manufacturing to recycling, and to share data among manufacturers, treatment operators, and regulatory authorities. For this tool to be fully effective, it must be interoperable with existing management systems and rely on harmonised data formats to enable seamless integration across the supply chain.

Finally, the fifth area addresses intersectoral cooperation. Managing the risks associated with lithium-ion batteries requires close coordination among industry stakeholders, local authorities, regulators, and emergency services. Establishing common protocols, sharing feedback, and developing joint emergency response plans are key factors in controlling crisis situations.

These recommendations reflect a central conclusion: risks related to lithium-ion batteries can only be effectively reduced through a comprehensive approach that combines technology, regulation, training, and cooperation. The challenge lies in implementing local preventive measures, adapted to the operational realities of sites, while maintaining strategic frameworks harmonised at the European level.

Conclusion

The rapid growth of lithium-ion batteries in mobility and energy storage requires a profound transformation of industrial and regulatory practices. The main risks (fires, explosions, toxic emissions, and pollution) are now well identified, but their prevention demands coordinated investment in infrastructure, training, and research. Worker safety, environmental protection, and industrial continuity directly depend on these combined efforts.

The deployment of tools such as the battery passport, improvements in sorting and storage protocols, the harmonisation of standards, and the upskilling of professionals represent tangible and immediately actionable levers. In the medium and long term, technological innovation and cooperation among Member States will make it possible to build a safer, more sustainable, and more competitive European battery sector.

Managing the risks associated with lithium-ion batteries is therefore not merely a safety requirement, it is a cornerstone of the energy transition's success. Ensuring safety across the entire battery lifecycle, from manufacturing to recycling, means reconciling technological progress with the protection of people and the preservation of the environment.