

RAPPORT D'ÉTUDE

Juillet 2014

INERIS-DRC-14-141681-06454A

**Déchets de batteries au lithium : classement et
état des lieux des filières de gestion**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Déchets de batteries au lithium : classement et état des lieux des filières de gestion

Rapport réalisé pour le MEDDE

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Guy MARLAIR, Delphine SCHACH-TIGREAT, Marie-Astrid SOENEN

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Salim ALIM, Flore REBISCHUNG	Roger REVALOR	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieurs de l'unité COSM	Responsable de l'unité COSM	Responsable du pôle RISK
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	6
GLOSSAIRE	7
INTRODUCTION	8
1. BATTERIES AU LITHIUM : DEFINITIONS ET ETAT DES LIEUX	10
1.1 Piles, accumulateurs et batteries	10
1.2 Etat des lieux en France et en Europe	12
1.2.1 Production et mise sur le marché de batteries.....	12
1.2.2 Batteries en fin de vie	13
2. CADRE REGLEMENTAIRE DU CLASSEMENT DES DECHETS DE BATTERIES AU LITHIUM	18
2.1 Classement pour le transport	18
2.2 Classement en tant que déchets selon la nomenclature	22
3. FILIERES DE TRAITEMENT EN FRANCE ET EN EUROPE	23
3.1 Procédés de traitement	23
3.1.1 Pyrométallurgie.....	24
3.1.2 Hydrométallurgie.....	24
3.2 Principaux sites de traitement en activité	25
4. CLASSEMENT ET RISQUES	27
4.1 Risques dans les filières de traitement des déchets	27
4.1.1 Accidentologie	27
4.1.2 Eléments d'analyse préliminaire des risques.....	29
4.2 Première évaluation du classement en tant que déchets des batteries au lithium.....	32
5. CONCLUSION	37
REFERENCES	38

RESUME

Le développement des technologies de stockage d'énergie au lithium ces dernières décennies a aujourd'hui comme conséquence l'augmentation du nombre de piles et accumulateurs en fin de vie devant faire l'objet d'une réutilisation, d'un recyclage ou d'un traitement.

Si la réglementation transport prévoit un cadre spécifique pour le classement de ces déchets, la réglementation déchets ne prévoit pas encore d'entrée spécifique pour les piles et accumulateurs au lithium dans sa nomenclature.

Des données ont ainsi été rassemblées sur le contenu en substances dangereuses des batteries au lithium et sur l'accidentologie liée à ces technologies. Ces éléments, bien qu'insuffisants pour déterminer avec certitude le classement en tant que déchets dangereux (selon les propriétés H1-H15 du Code de l'Environnement) des batteries au lithium en fin de vie, laissent toutefois penser qu'un classement automatique via la création d'une nouvelle rubrique (assortie d'une *) de la nomenclature déchet pourrait être envisagé (ou éventuellement plusieurs, distinguant différentes technologies, comme c'est le cas dans la réglementation transport).

Une étude des filières de traitement des batteries en fin de vie a également été menée et a mis en évidence que les technologies en étaient encore pour la plupart au stade du développement pour le traitement spécifique des batteries au lithium.

GLOSSAIRE

NB : Les définitions données dans ce glossaire sont reprises de l'article R543-125 du Code de l'Environnement.

Batterie : toute série de piles ou d'accumulateurs interconnectés ou enfermés dans un boîtier pour former une seule et même entité complète que l'utilisateur final n'est pas censé démanteler ou ouvrir.

Mise sur le marché : fourniture ou mise à disposition à des tiers de piles et accumulateurs sur le territoire douanier de l'Union européenne, à titre onéreux ou gratuit, y compris l'importation sur le territoire de l'Union européenne.

Pile ou accumulateur : toute source d'énergie électrique obtenue par transformation directe d'énergie chimique, constituée d'un ou plusieurs éléments primaires (non rechargeables) ou d'un ou de plusieurs éléments secondaires (rechargeables).

- **Pile ou accumulateur portable** : toute pile, pile bouton, assemblage en batterie ou accumulateur qui est scellé et peut être porté à la main et qui n'est par ailleurs ni une pile ou un accumulateur industriel ni une pile ou un accumulateur automobile.
- **Pile ou accumulateur automobile** : toute pile ou accumulateur destiné à alimenter un système de démarrage, d'éclairage ou d'allumage.

NB : les batteries au lithium utilisées dans les véhicules électriques sont comptabilisés dans le groupe des piles et accumulateurs industriels ; à ce titre, le groupe des piles et accumulateurs automobiles ne sera que très peu abordé dans ce rapport, car concernant des batteries avec d'autres technologies que le lithium.

- **Pile ou accumulateur industriel** : toute pile ou accumulateur conçu à des fins exclusivement industrielles ou professionnelles ou utilisé dans tout type de véhicule électrique.

Producteur : toute personne située sur le territoire national qui, quelle que soit la technique de vente utilisée, y compris par communication à distance, met des piles ou des accumulateurs sur le marché pour la première fois sur le territoire national à titre professionnel, y compris ceux qui sont intégrés dans des équipements électriques et électroniques ou dans des véhicules.

Taux de collecte : le pourcentage obtenu en divisant le poids des déchets de piles et d'accumulateurs collectés pendant l'année par le poids moyen des piles et accumulateurs mis sur le marché par les producteurs pendant la même année civile et les deux années précédentes.

INTRODUCTION

Les piles au lithium (mises sur le marché en France à la fin des années 1970) et les accumulateurs (développés à partir des années 1990) représentaient en 2011 22% des usages de ce métal, en deuxième place derrière l'industrie du verre, de la céramique et de la vitrocéramique [1]. Toutefois, une croissance de 15 à 19 % par an étant attendue, cet usage devrait prochainement devenir la première filière consommatrice de cette ressource.

Les batteries au lithium constituant également une composante essentielle du développement des véhicules électriques, cette thématique se situe ainsi au carrefour des sujets économie circulaire (voir Figure 1) et transition énergétique. A ce titre, le présent rapport fait partie des éléments produits par l'INERIS dans le cadre du chantier n°6 « Accompagner entreprises et collectivités locales dans la transition vers une économie circulaire » de la feuille de route pour la transition écologique établie dans le cadre de la conférence environnementale.

Il a été réalisé au sein du programme d'appui au MEDDE relatif à l'élaboration et l'actualisation de la réglementation liée à la gestion des déchets, et a pour objectif de dresser un état des lieux des filières de gestion des déchets de batteries (piles et accumulateurs) au lithium et des risques associés à ces filières. Il s'est notamment appuyé sur l'expertise acquise par l'INERIS au cours de travaux antérieurs menés sur la sécurité de ces équipements et les études de risques associées.

Après une présentation des matériaux étudiés (concernant leur composition comme leur volume) dans le chapitre 1, est évoqué le cadre réglementaire du classement de ces déchets dans le chapitre 1.2.2.4. Les filières de traitement de ces déchets - existantes et en développement - sont détaillées dans le chapitre 3, et la question du classement de ces déchets et des risques associés aux filières de traitement évoquées précédemment est traitée dans le chapitre 4. En guise de conclusion, le chapitre 5 ouvre l'étude aux perspectives de poursuite de travaux sur ce sujet.

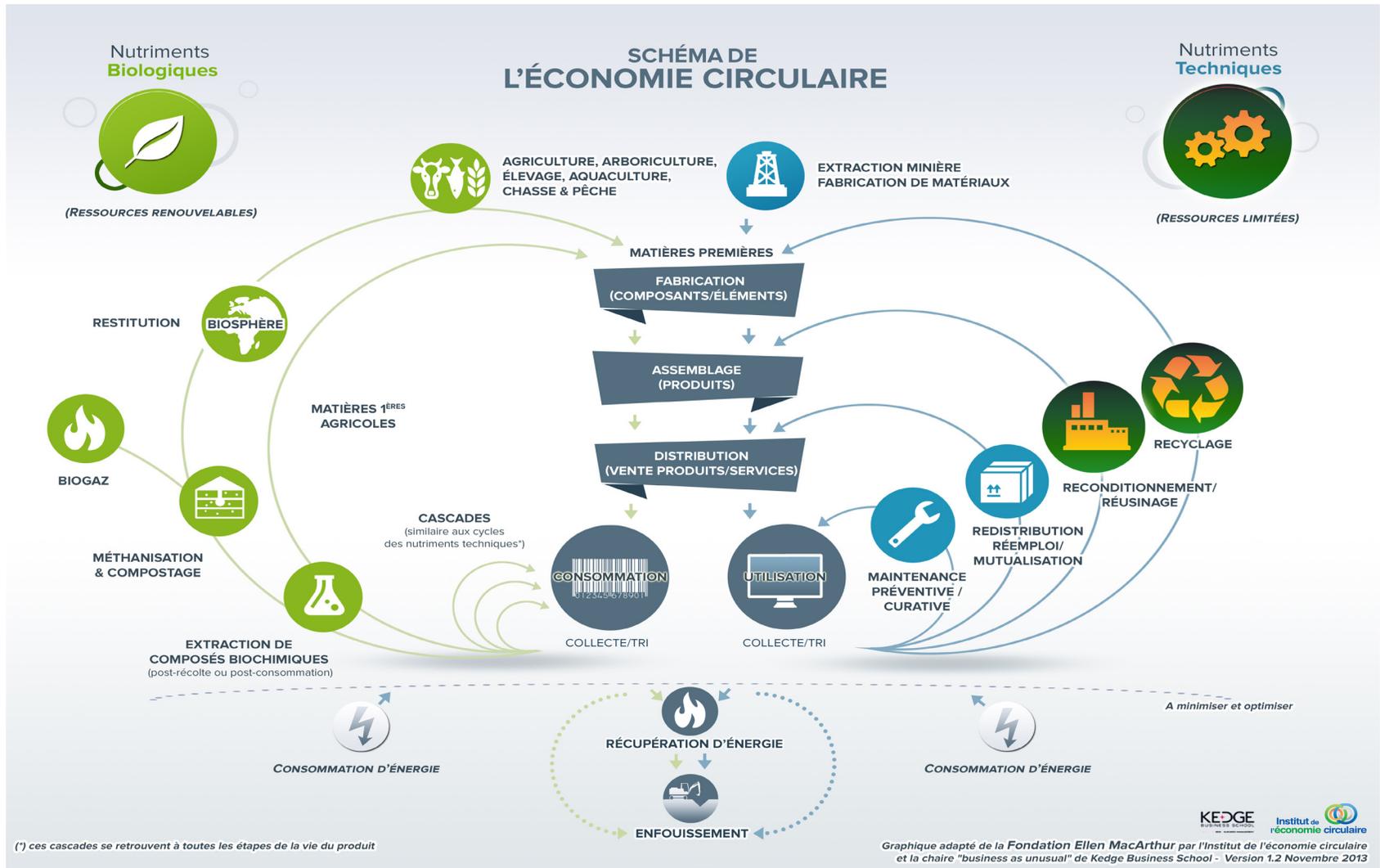


Figure 1 : Schéma de l'économie circulaire [2] et sujets dans lesquels s'inscrit le présent rapport (signalés par)

1. BATTERIES AU LITHIUM : DEFINITIONS ET ETAT DES LIEUX

1.1 PILES, ACCUMULATEURS ET BATTERIES

Les accumulateurs et les piles sont des systèmes élémentaires servant à stocker l'énergie générée par des réactions électrochimiques. Ces réactions sont activées au sein d'une cellule élémentaire entre deux électrodes baignant dans un électrolyte lorsqu'une résistance, un moteur électrique par exemple, est branchée à ses bornes. L'accumulateur est basé sur un système électrochimique réversible : il est rechargeable, par opposition à une pile qui ne l'est pas. Le terme batterie est utilisé pour caractériser un assemblage de cellules élémentaires (en général rechargeables). [3]

Les définitions réglementaires de ces trois termes (piles, accumulateurs et batteries) sont données dans le glossaire du présent document.

Piles

Les piles au lithium peuvent se présenter sous forme bouton ou bâton avec les formats classiques (AA, AAA) ; dans ce cas, les électrodes sont généralement spiralées. L'anode est toujours constituée de lithium, un des métaux les plus légers et extrêmement réactif avec l'eau, et l'électrolyte est un sel de lithium dans un solvant organique.

Le lithium (Li) s'oxyde en ions lithium (Li^+) selon l'équation :



Pour la cathode, diverses possibilités existent :

- soit solides : oxyde de cuivre (CuO), dioxyde de manganèse (MnO_2), monofluorure de carbone (CF_x),...
- soit liquides : dioxyde de soufre (électrode de carbone poreux, rempli d'une solution de dioxyde de soufre SO_2), chlorure de thionyle (électrode de carbone poreux rempli d'une solution de chlorure de thionyle SOCl_2) ...

De façon générale, les piles lithium sont caractérisées par une puissance volumique et massique élevée (elles peuvent atteindre des tensions de 3,5 V, contre 1,5 V pour les piles alcalines par exemple, ce qui réduit le poids et le volume), elles fonctionnent dans une large gamme de température (-40 à 70°C), elles supportent des stockages prolongés (5 à 10 ans), et leur durée de vie est jusqu'à 5 fois plus longue. Ces avantages sont toutefois contrebalancés par un coût plus élevé que pour les autres types de piles. [4]

Les piles bâtons au lithium sont à usage général (lampes, alarmes, calculatrices, télécommandes, ...) et les piles bouton au lithium sont utilisées dans les montres, les appareils photos, les stimulateurs cardiaques...

Accumulateurs

On distingue parmi les accumulateurs au lithium différents types : « lithium carbone » ou « lithium-ion », « lithium – polymère », « lithium-métal » et d'autres moins utilisés, tels que « lithium-air », « lithium-fer-phosphate », « lithium-métal-polymère », « lithium-titanate », ...).

Le principe de fonctionnement d'un accumulateur au lithium est le même selon qu'est utilisée une électrode négative à base de carbone, de polymère, ou de lithium métallique : en cours d'utilisation - donc lors de la décharge de l'accumulateur - le lithium relâché par l'électrode négative sous forme ionique Li^+ migre à travers l'électrolyte conducteur ionique et vient s'intercaler dans le réseau cristallin du matériau actif de l'électrode positive.

Dans le cas du Lithium-Ion , appelé ainsi car le lithium n'est jamais sous forme métallique dans l'accumulateur, le lithium fait « le va-et-vient » entre les deux composés d'insertion du lithium contenus dans les électrodes positive et négative à chaque charge ou décharge de l'accumulateur. Pendant la recharge, des ions lithium viennent s'insérer dans la structure de l'électrode négative en carbone graphite, et lors de la décharge, la structure en carbone de l'anode libère alors ces ions qui viennent se replacer dans la structure de la cathode (dioxyde de cobalt, manganèse, ou phosphate de fer).

Les accumulateurs « lithium – polymère » fonctionnent de la même façon, l'électrolyte étant cette fois un sel de lithium, diffusé dans une matrice polymère. Dans un état intermédiaire entre un gel et un solide, il fait lui-même office de séparateur. Dans ce cas, le boîtier de l'accumulateur est souple et plat.

Dans le cas d'un accumulateur « Li-métal », l'électrode négative est constituée de lithium métallique, et l'accumulateur se trouve initialement à l'état chargé. La décharge consiste en l'oxydation de l'électrode négative, le transport des ions lithium vers l'électrode positive (qui est classiquement composée de matériaux tels que les oxydes de vanadium ou les oxydes de manganèse), qui subit alors une réduction. Au contraire, en charge, l'électrode positive subit une oxydation, tandis que les ions lithium se déposent sur l'électrode négative sous forme métallique.

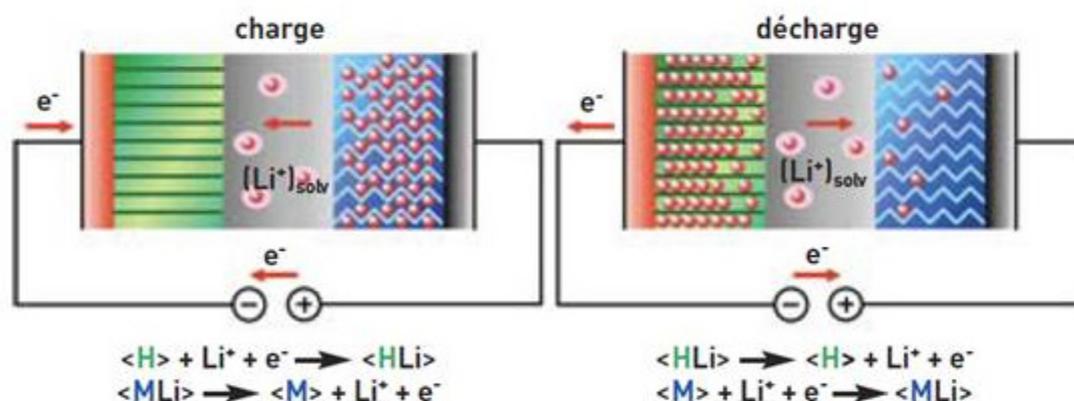


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un accumulateur au lithium [5]

Les accumulateurs au lithium sont chers et sont surtout utilisés dans les téléphones, les ordinateurs portables, ... Ils présentent l'avantage d'être plus léger tout en contenant une plus grande réserve d'énergie délivrée sous une tension de 3 Volt ou plus (contre 1,2 Volt pour le Ni-Cd ou Ni-MH). [6]

Batteries

Une batterie est un ensemble de cellules électriques (piles ou accumulateurs) reliés entre elles de façon à créer un générateur de courant continu de capacité et de tension désirée.

L'un des principaux usages des batteries (accumulateurs) au lithium-ion est la création d'énergie dans les véhicules électriques et hybrides rechargeables. Un marché en pleine expansion, qui est en voie de représenter le gisement principal des déchets de batteries au Li. Ces batteries au Li sont aussi utilisées pour le stockage de l'énergie d'origine renouvelable.

1.2 ETAT DES LIEUX EN FRANCE ET EN EUROPE

1.2.1 PRODUCTION ET MISE SUR LE MARCHE DE BATTERIES

En 2012, 1 274 millions de piles et accumulateurs (toutes technologies confondues) ont été mis sur le marché français (+ 2,2 % par rapport à 2011), représentant une masse de 242 649 tonnes (+ 8,9 %). L'évolution des tonnages est essentiellement liée à l'essor du secteur automobile. [7]

Concernant les technologies au lithium, le Tableau 1 présente les données françaises pour 2011 et 2012, détaillées par type de technologie et d'usage. On remarque qu'entre 2011 et 2012, le nombre d'accumulateurs industriels au lithium mis sur le marché a augmenté de plus de 50%, passant d'environ 280 milliers d'unités à plus de 441. Cette tendance traduit l'arrivée sur le marché des véhicules électriques ainsi que des technologies de stockage de l'énergie liées au développement des énergies renouvelables. [7]

Tableau 1 : P&A au lithium mis sur le marché français en 2011 et 2012 [7]

		Quantité (milliers d'unité)			Masse (tonnes)		
		Acc. au Li	Pile au Li	Bouton au Li	Acc. au Li	Pile au Li	Bouton au Li
2011	P&A portables	61 238	7 043	75 802	4 914	126	237
	P&A automobiles	0	1	7	0	20	1
	P&A industriel	280	1 448	1	748	539	0
	<i>Total</i>	<i>61 518</i>	<i>8 492</i>	<i>75 809</i>	<i>5 662</i>	<i>685</i>	<i>238</i>
2012	P&A portables	64 028	8 736	78 609	5 114	139	275
	P&A automobiles	0	0	5	0	0	0
	P&A industriel	441	1 848	2	2 810	514	0
	<i>Total</i>	<i>64 469</i>	<i>10 584</i>	<i>78 616</i>	<i>7 923</i>	<i>653</i>	<i>275</i>

Concernant le marché spécifique des P&A de technologie Li-ion, les mises sur le marché sont en hausse en 2012 (+ 5 % en nombre d'unités par rapport à 2011), poussées par la consommation de produits électroniques mobiles (téléphones portables, ordinateurs portables, appareils photos numériques, etc.).

1.2.2 BATTERIES EN FIN DE VIE

1.2.2.1 COLLECTE

La filière de collecte et de traitement des piles et accumulateurs usagés est opérationnelle en France depuis 2001 pour les P&A des ménages, et depuis le 1^{er} janvier 2010 pour les P&A automobiles et industriels suite à la publication du décret n°2009-1139. Ce décret abandonne la distinction « ménage / professionnel » au profit d'une segmentation en trois types de piles et accumulateurs : portable / automobile / industriel.

Pour les piles et accumulateurs portables, deux éco-organismes sont agréés jusqu'à fin 2015 et sont chargés de la collecte sur l'ensemble du territoire : Corepile et Screlec. Ils couvraient 99,8 % des tonnages de piles et accumulateurs portables collectés en 2012. Un système individuel de Mobivia Groupe (producteur de P&A) est approuvé, s'occupant ainsi de la collecte et du traitement des P&A.

Aujourd'hui, les producteurs de piles et accumulateurs industriels s'organisent de manière individuelle pour collecter et faire traiter les déchets de piles et accumulateurs mis sur le marché.

Les P&A au Li ne font pas l'objet d'une collecte spécifique, les P&A sont collectés en mélange dans différents centres, et sont ensuite triés pour le traitement.

En 2012, 233 779 tonnes de déchets de P&A usagés (toutes technologies confondues) ont été collectées en France (principalement des accumulateurs au plomb), ce qui correspond à une évolution par rapport à 2011 identique à celle observée pour les mises sur le marché (+ 8 %). [7]

En 2012, la répartition selon les différents types de P&A est la suivante (voir également Tableau 2) :

- P&A portables : 5 % du volume collecté ;
- P&A automobiles : 89 % du volume collecté ;
- P&A industriels : 6 % du volume collecté.

Tableau 2 : Masses de P&A usagés (toutes technologies confondues) collectés en France en 2011 et 2012 [7]

	Masse (tonnes)	
	2011	2012
P&A portables	11 621	11 776 (+ 1,3 %)
P&A automobiles	190 926	208 177 (+ 9 %)
P&A industriels	13 468	13 825 (+ 2,6 %)
Total	216 015	233 779 (+ 8,2 %)

Au niveau européen, il existe depuis juin 2012 des statistiques sur la filière des P&A (Eurostat), mais de nombreuses différences d'appréciation empêchent une comparaison précise des résultats obtenus entre les pays. Les fédérations européennes et les pouvoirs publics tentent d'harmoniser les données (notamment via la publication d'un règlement pour le calcul du rendement de recyclage). Il ressort toutefois de ces données que :

- avec ses 35,4 % de taux de collecte, la France se classe parmi les quelques pays ayant atteint les objectifs de collecte imposés par l'Europe pour 2012, néanmoins inférieurs aux taux communiqués par la Suisse (73 %), la Belgique (52 %), l'Allemagne (44 %) et des Pays-Bas (42 %) ;
- l'Italie, le Royaume-Uni et l'Espagne peinent à atteindre l'objectif de 25 % de taux de collecte pour 2012. [7]

1.2.2.2 SECONDE VIE DES ACCUMULATEURS

Le plan national de développement des véhicules décarbonés mis en œuvre en 2009 fixe un objectif d'un parc de deux millions de véhicules électriques (VE) et hybrides rechargeables (VHR) à l'horizon 2020. Une des mesures de ce plan vise à donner une seconde vie aux batteries Li-Ion qui équipent ces véhicules.

Ces batteries, lorsqu'elles sont hors d'usage pour une propulsion automobile optimale, pourraient en effet être exploitées comme réservoirs d'énergie pour d'autres applications embarquées ou stationnaires en fonction de leur viabilité technique, économique et environnementale. La fin de la première vie se situe à 80%, 75% ou 70% de la capacité initiale, et la durée estimée pour atteindre la fin de première vie varie entre 5 ans et 10 ans ; la perte de puissance varierait quant à elle sur un rythme similaire ou légèrement plus lent que la capacité.

Le seuil de fin de vie ultime (après la seconde vie) est estimé entre 60% et 50% de la capacité initiale : au-delà, le risque d'une dégradation brutale de la batterie serait élevé. [8]

Les usages de seconde vie les plus pertinents envisagés à ce jour sont les suivants [8] :

- véhicules électriques poursuivant leur utilisation avec une batterie aux performances dégradées,
- véhicules de type chariots élévateurs,
- lissage de la pointe d'appel de puissance par des batteries installées dans les sous-stations SNCF,
- dans les DOM-TOM, lissage des injections sur le réseau d'une installation éolienne ou photovoltaïque et écrêtage de la demande d'électricité pour les usages domestiques individuels ou collectifs,
- alimentations électriques sans coupure : hôpitaux, télécommunications, centres de traitement informatique,
- substitution aux groupes électrogènes utilisés par ERDF,

- alimentation des auxiliaires dans les centrales électriques, les stations et les sous-stations des réseaux,
- stockage de l'énergie d'une installation éolienne ou photovoltaïque isolée,
- installation isolée autonome sur batterie.

Si le développement de la réutilisation des batteries en fin de première vie pour d'autres usages semble prometteur, en permettant de modifier positivement la chaîne de valeur de la filière batterie et véhicules électriques et hybrides, il n'en est aujourd'hui qu'à ses débuts. En outre, leur seconde vie ne permettra que de prolonger un certain temps la durée d'utilisation des batteries, ne faisant que retarder leur passage au statut de déchet. Ainsi, la pertinence du développement de filières de traitement de ces déchets reste entière.

1.2.2.3 TRAITEMENT

En 2012, 272 335 tonnes de déchets de P&A usagés (toutes technologies confondues) ont été traités en France, soit une légère baisse par rapport à 2011 (- 2 %). Parmi les piles et accumulateurs traités par les opérateurs français, 220 796 tonnes proviennent de France, soit 81 % du total traité. Par ailleurs, 15 325 tonnes des P&A collectées en France ont été exportées pour traitement par les producteurs ou éco-organismes (Espagne, Allemagne, Belgique), soit 3,5 fois plus qu'en 2011 (réduction de capacité due à l'arrêt d'activité du site Valdi à Feurs).

En 2012, le recyclage est le mode de traitement principal des piles et accumulateurs, et concerne 83 % du volume. La valorisation énergétique ne représente que 1 % (liée généralement à la présence de plastiques) ; 8 % sont éliminés (sans valorisation) et les 8 % restants correspondent à une perte de matière liée aux procédés. [7]

Le Tableau 3 présente les chiffres spécifiques aux P&A au lithium.

Tableau 3 : P&A au lithium traités en France et envoyés à l'étranger en 2011 et 2012 [7]

		Quantité traitée en France (tonnes)		Quantité envoyée à l'étranger (tonnes)	
		Acc. au Li	Pile au Li	Acc. au Li	Pile au Li
2011	P&A portables	268	169	32	15
	P&A automobiles	0	0	0	0
	P&A industriel	0	0	0	0
	<i>Total</i>	<i>268</i>	<i>169</i>	<i>32</i>	<i>15</i>
2012	P&A portables	224	169	110	106
	P&A automobiles	0	0	0	0
	P&A industriel	74	0	0	0
	<i>Total</i>	<i>298</i>	<i>169</i>	<i>110</i>	<i>106</i>

Sur les 298 tonnes d'accumulateurs au lithium traitées en France, 167 tonnes ont été recyclées (56%), 22 tonnes valorisées énergétiquement, et 109 sont comptabilisées comme pertes liées aux procédés.

Sur les 224 tonnes d'accumulateurs au Li portables traitées en France, 99 proviennent de France (44%), 126 de l'étranger (56%). Les 110 tonnes envoyées à l'étranger pour traitement se répartissent entre l'Allemagne, le Royaume-Uni et la Belgique.

Concernant les 169 tonnes de piles au Li traitées en France, 160 proviennent de France (95%) et 9 de l'étranger (5%). 41 tonnes ont été recyclées (24%), 21 tonnes valorisées énergétiquement, 5 tonnes éliminées, et 102 sont comptabilisées comme pertes. Par ailleurs, les 106 tonnes envoyées à l'étranger pour traitement ont été dirigées vers l'Allemagne. [7]

Au niveau international, l'EBRA (European Battery Recycling Association), association représentant les sociétés de tri et de recyclage en Europe (parmi lesquelles Accurec, Batrec Industrie AG, EuroDieuze, G&P Batteries, Glencore Nickel International SA, Recupyl, Recypilas / Indumetal, Revatech, SAFT AB, SNAM, Umicore, VALDI, Envirobat Espana, Xstrata Nickel, KMK Metals Recycling Ltd, Saubermacher, Sitrasa, Van Peperzeel), rassemble des données sur les volumes traités dans différents pays.

Ces données, présentées dans le Tableau 4, peuvent toutefois être sous-estimées pour certains pays, notamment pour l'Allemagne, tous les opérateurs de traitement n'étant pas adhérents de l'EBRA. Pour la France, un écart peut être observé entre les données de l'EBRA et celles de l'Ademe relatives aux piles au Li, correspondant aux stocks présents dans les centres de traitement comptabilisés par l'EBRA et non inclus dans les données de collecte 2012 du registre de l'Ademe. [7]

Tableau 4 : P&A au Li traités en Europe et dans le monde selon l'EBRA (en tonnes) [7]

Pays	Accumulateurs au Li (portables)	Piles au Li (portables)	Accumulateurs au Li (industriels)
USA	1 877	0	0
Chine	323	1	2
Pays scandinaves	294	0	0
Allemagne	266	81	50
Pays-Bas	226	124	0
France	153	179	73
Royaume-Uni	83	87	1
Reste du monde	46	18	0
Espagne	34	0	0
Benelux	34	2	0
Autres pays d'europe	28	21	1
Suisse	19	45	0
Italie	2	24	0

1.2.2.4 SYNTHÈSE

Les données relatives à la mise sur le marché, la collecte et le traitement des P&A pour l'année 2012, présentées précédemment, sont reprises dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Synthèse des données relatives à la mise sur le marché, la collecte et le traitement des P&A en France en 2012 (tonnes)

	Mise sur le marché	Collecte	Traitement
Toutes technologies confondues	242 649	233 779	272 335
P&A au Li	8 851	Non documenté	467

Ces chiffres mettent en évidence la part encore minime que représentent les technologies au lithium sur les volumes de piles et accumulateurs, en particulier au niveau du traitement. En effet, si ces technologies sont aujourd'hui en plein développement, elles restent relativement récentes, avec une longue durée de vie, et le volume de déchets produits est ainsi aujourd'hui encore limité. Toutefois, une augmentation certaine de ces chiffres est attendue pour les années à venir, et a déjà été constatée entre 2011 et 2012.

2. CADRE REGLEMENTAIRE DU CLASSEMENT DES DECHETS DE BATTERIES AU LITHIUM

2.1 CLASSEMENT POUR LE TRANSPORT

La réglementation transport a reconnu la spécificité du danger des batteries au lithium en créant une subdivision spécifique de la classe 9 pour ces matériaux : « M4 – piles au lithium »¹. Quatre numéros ONU, repris dans le Tableau 6, peuvent être utilisés pour désigner les piles et batteries au lithium transportées. Ces numéros distinguent notamment la technologie utilisée (lithium métal et lithium ionique), étant entendu que la nature de l'élément lithium est une composante majeure du risque associé à ces technologies.

Parmi les dispositions spéciales associées à ces numéros ONU, deux couvrent spécifiquement les déchets de piles et batteries au lithium : batteries usagées (636) ou endommagées (661), cette dernière ayant été rajoutée dans la version 2013 de la réglementation. Ces dispositions sont reprises ci-après.

En outre, des débats sont en cours pour amender ces dispositions dans la prochaine version de l'ADR [9], et les remplacer par les dispositions 376 et 377, également mentionnées ci-après (en anglais, la version française n'étant pas encore établie).

Disposition spéciale 636

Les piles et batteries au lithium usagées, dont la masse brute ne dépasse pas 500g par unité, qu'elles soient contenues ou non dans un équipement, collectées et présentées au transport en vue de leur élimination, en mélange ou non avec des piles ou batteries autres qu'au lithium, ne sont pas soumises, jusqu'aux lieux de traitement intermédiaire, aux autres dispositions de l'ADR si elles satisfont aux conditions suivantes :

- i) Les dispositions de l'instruction P903b sont respectées ;*
- ii) Un système d'assurance de la qualité est mis en place garantissant que la quantité totale de piles et batteries au lithium dans chaque unité de transport ne dépasse pas 333 kg ;*
- iii) Les colis portent la marque : « PILES AU LITHIUM USAGEES ».*

Disposition spéciale 661

Le transport de batteries au lithium endommagées qui ne sont pas collectées et présentées au transport en vue de leur élimination conformément à la disposition spéciale 636, n'est autorisé que dans les conditions supplémentaires définies par l'autorité compétente d'une Partie contractante à l'ADR qui peut également reconnaître l'approbation par l'autorité compétente d'un pays qui ne serait pas Partie contractante à l'ADR à condition que cette approbation ait été accordée conformément aux procédures applicables selon l'ADR et le RID.

¹ Ce vocable inclut dans la subdivision les piles et les batteries au lithium, comme indiqué au point 2.2.9.1.7. de l'ADR.

Seules les méthodes d'emballage qui sont approuvées pour ces marchandises par l'autorité compétente peuvent être utilisées. L'autorité compétente peut définir une catégorie de transport ou un code de restriction en tunnels plus restrictifs qui doivent être inclus dans l'approbation de l'autorité compétente. Chaque envoi doit être accompagné d'une copie de l'approbation de l'autorité compétente ou le document de transport doit inclure la référence à l'approbation de l'autorité compétente. L'autorité compétente de la Partie contractante à l'ADR qui délivre une approbation conformément à cette disposition spéciale, doit notifier le secrétariat de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe qui rendra cette information accessible au public sur son site internet.

NOTE : Toute recommandation faite par les Nations Unies concernant les prescriptions techniques pour le transport de batteries au lithium endommagées doit être prise en compte lors de la délivrance de l'approbation.

Par "batteries au lithium endommagées" on entend en particulier:

- les batteries identifiées par le fabricant comme défectueuses pour des raisons de sécurité,
- les batteries dont les caisses sont endommagées ou fortement déformées,
- les batteries présentant des fuites de liquides ou de gaz, ou
- les batteries présentant des défaillances qui ne peuvent pas être diagnostiquées avant leur transport vers le lieu où une analyse peut être effectuée.

Projet de disposition spéciale 376

Lithium ion cells or batteries and lithium metal cells or batteries identified as being damaged or defective such that they do not conform to the type tested according to the applicable provisions of the Manual of Tests and Criteria shall comply with the requirements of this special provision.

For the purposes of this special provision, these may include, but are not limited to:

- Cells or batteries identified as being defective for safety reasons;
- Cells or batteries that have leaked or vented;
- Cells or batteries that cannot be diagnosed prior to carriage; or
- Cells or batteries that have sustained physical or mechanical damage.

NOTE: In assessing a battery as damaged or defective, the type of battery and its previous use and misuse shall be taken into account.

Cells and batteries shall be carried according to the provisions applicable to UN No. 3090, UN No. 3091, UN No. 3480 and No. UN 3481, except special provision 230 and as otherwise stated in this special provision.

Packages shall be marked "DAMAGED/DEFECTIVE LITHIUM-ION BATTERIES" or "DAMAGED/DEFECTIVE LITHIUM METAL BATTERIES", as applicable.

Cells and batteries shall be packed in accordance with packing instructions P908 of 4.1.4.1 or LP904 of 4.1.4.3, as applicable.

Cells and batteries liable to rapidly disassemble, dangerously react, produce a flame or a dangerous evolution of heat or a dangerous emission of toxic, corrosive or flammable gases or vapours under normal conditions of carriage shall not be carried except under conditions specified by the competent authority.

Projet de disposition spéciale 377

Lithium ion and lithium metal cells and batteries and equipment containing such cells and batteries carried for disposal or recycling, either packed together with or packed without non-lithium batteries, may be packaged in accordance with packing instruction P909 of 4.1.4.1.

These cells and batteries are not subject to the requirements of 2.2.9.1.7 (a) to (e).

Packages shall be marked "LITHIUM BATTERIES FOR DISPOSAL" or "LITHIUM BATTERIES FOR RECYCLING".

Identified damaged or defective batteries shall be carried in accordance with special provision 376 and packaged in accordance with P908 of 4.1.4.1 or LP904 of 4.1.4.3, as applicable.

Tableau 6 : Classement des P&A au lithium selon l'ADR (en rouge : dispositions modifiées en 2013)

N° UN	Nom	Classe	Code de classification	Instruction d'emballage	Etiquette	Dispositions spéciales	Quantités limitées et exemptées		Instructions d'emballages	Restrictions en tunnels
3090	PILES AU LITHIUM METAL (y compris les piles à alliage de lithium)	9	M4	II	9	188, 230, 310, 636, 656 , 661	0	E0	P903 P903a P903b	2 (E)
3091	PILES AU LITHIUM METAL CONTENUES DANS UN EQUIPEMENT ou PILES AU LITHIUM METAL EMBALLEES AVEC UN EQUIPEMENT (y compris les piles à l'alliage de lithium)	9	M4	II	9	188, 230, 360 , 636, 656 , 661	0	E0	P903 P903a P903b	2 (E)
3480	PILES AU LITHIUM-IONIQUE (y compris les piles au lithium ionique à membrane polymère)	9	M4	II	9	188, 230, 310, 348, 636, 656 , 661	0	E0	P903 P903a P903b	2 (E)
3481	PILES AU LITHIUM IONIQUE CONTENUES DANS UN EQUIPEMENT ou PILES AU LITHIUM IONIQUE EMBALLEES AVEC UN EQUIPEMENT (y compris les piles au lithium ionique à membrane polymère)	9	M4	II	9	188, 230, 348, 360 , 636, 656 , 661	0	E0	P903 P903a P903b	2 (E)

2.2 CLASSEMENT EN TANT QUE DECHETS SELON LA NOMENCLATURE

La réglementation française définit deux méthodes pour déterminer le classement d'un déchet en tant que déchet dangereux ou non dangereux :

- l'attribution d'un code de la liste des déchets (voir ci-dessous) ;
- en l'absence de classification clairement établie via la liste des déchets, l'évaluation des propriétés de danger H1-H15 décrites à l'annexe I de l'article R541-8 du Code de l'Environnement.

La liste des déchets mentionnée précédemment a été introduite en droit européen par la Décision 2000/532/CE et reprise quasiment à l'identique par le Code de l'Environnement à l'annexe II de l'article R541-8. Cette liste est construite en 20 chapitres regroupant les déchets par origine ou typologie. Ces chapitres sont divisés en sections (représentées par un code à 4 chiffres), chaque section regroupant elle-même un certain nombre de rubriques. A chaque rubrique correspond un code à 6 chiffres, complété éventuellement par un symbole « * » si le type de déchets concerné est dangereux.

Les rubriques pouvant être associées aux déchets de piles et accumulateurs sont présentées dans le Tableau 7. Deux chapitres sont concernés :

- le chapitre 20 : déchets municipaux (déchets ménagers, et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations), y compris les fractions collectées séparément,
- le chapitre 16 : déchets non décrits ailleurs dans la liste.

Tableau 7 : Rubriques déchets relatives aux piles et accumulateurs

N° rubrique	Déchet
CHAPITRE 16 : DECHETS NON DECRITS AILLEURS DANS LA LISTE	
16 06 01*	Accumulateurs au plomb
16 06 02*	Accumulateurs Ni-Cd
16 06 03*	Piles contenant du mercure
16 06 04	Piles alcalines (sauf rubrique 16 06 03*)
16 06 05	Autres piles et accumulateurs
16 06 06*	Electrolytes de piles et accumulateurs collectés séparément
CHAPITRE 20 : DECHETS MUNICIPAUX (DECHETS MENAGERS, ET DECHETS ASSIMILES PROVENANT DES COMMERCES, DES INDUSTRIES ET DES ADMINISTRATIONS), Y COMPRIS LES FRACTIONS COLLECTEES SEPAREMENT	
20 01 33*	Piles et accumulateurs visés aux rubriques 16 06 01*, 16 06 02* ou 16 06 03*, et piles et accumulateurs non triés contenant ces piles
20 01 34	Piles et accumulateurs autres que ceux visés à la rubrique 20 01 33*

A la lecture du Tableau 7, on note qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'entrée spécifique pour les P&A au lithium ; contrairement aux accumulateurs au plomb ou au Ni-Cd, la question de leur dangerosité n'a pas été tranchée directement par la liste des déchets. Etant donné que ces éléments contiennent un certain nombre de substances dangereuses, il apparaît donc pertinent d'approfondir leur classement en tant que déchet (voir partie 4.2 du présent rapport), et, plus largement, les risques associés aux filières de recyclage de ces déchets.

3. FILIERES DE TRAITEMENT EN FRANCE ET EN EUROPE

3.1 PROCEDES DE TRAITEMENT

Il existe deux grands types de procédés pour le traitement des piles et accumulateurs au lithium : la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie, dont les procédés font encore aujourd'hui l'objet de projets de développement.

Les principales caractéristiques de ces procédés sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Comparaison entre les deux principaux procédés de traitement des P&A au lithium [8]

Pyrométallurgie	Hydrométallurgie
Permet de traiter les batteries en mélange, sans tri préalable	Ne permet pas de traiter les batteries en mélange, nécessité de tri entraînant un surcoût
Pas de récupération du lithium (se trouve dans les scories)	Récupération possible du lithium
Industrie à capacité élevée, traitement de grandes quantités	Unité industrielle à partir de 600t/an
Energivore	Peu énergivore
	Taux de recyclage plus élevé
Nécessité d'affinage des métaux (coûteux)	Meilleure valorisation des matériaux
Fortes émissions de CO2	Faibles émissions de CO2
Carbone incinéré (valorisation énergétique)	Carbone insoluble (graphite) en quantité significative sous la forme de résidu ultime (production de déchet)
	Probable adaptation du procédé aux nouvelles technologies de batteries au lithium

3.1.1 PYROMETALLURGIE

Lors d'un traitement par pyrométallurgie, les piles ou accumulateurs (pouvant être au lithium, Ni-Cd, Ni-MH, ou encore alcalins ou salins, seuls ou en mélange) sont introduits dans un four de fusion. La séparation des métaux est réalisée par une réaction d'oxydo-réduction.

Les fractions obtenues diffèrent d'une usine à l'autre et peuvent s'adapter aux besoins du marché, selon la fraction entrante et les objectifs de valorisation.

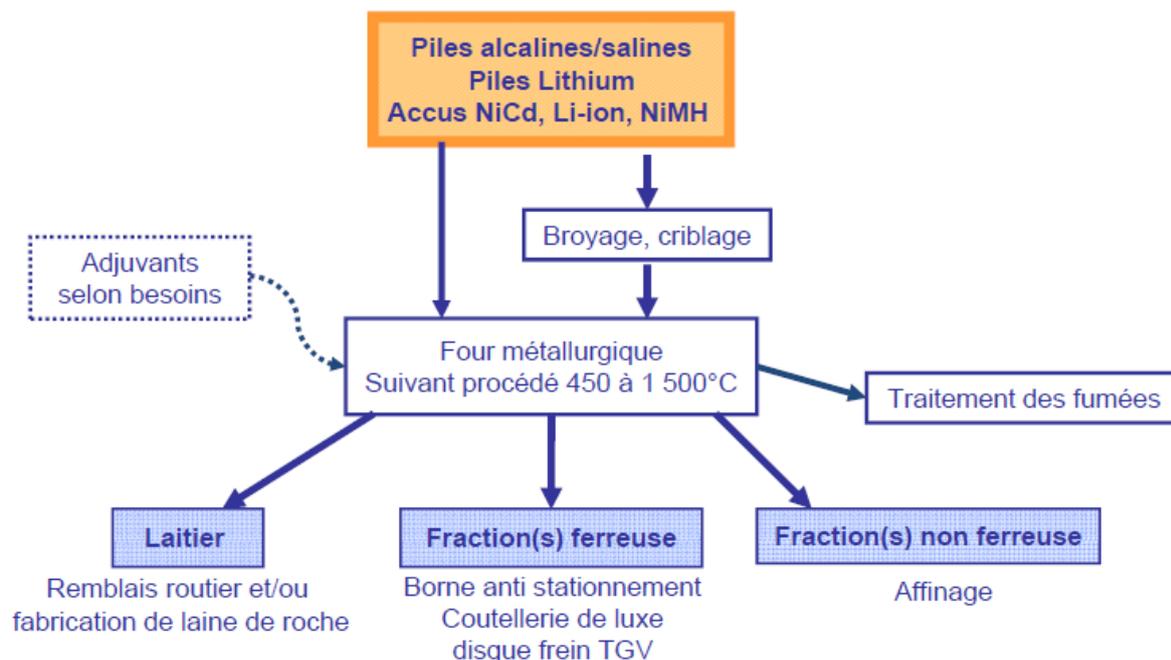


Figure 3 : Schéma de principe de la pyrométallurgie [10]

Aujourd'hui, la société Umicore, en collaboration avec Tesla Motors (constructeur de véhicules électriques), développe un procédé pour l'extraction du lithium des scories issues du procédé pyrométallurgique appliqué au recyclage des batteries lithium des véhicules électriques de Tesla.

3.1.2 HYDROMETALLURGIE

En amont du procédé hydrométallurgique à proprement parler, les piles et accumulateurs traités (piles alcalines ou salines, accumulateurs Ni-Cd ou Li-ion) doivent subir un traitement physique conduisant à la séparation des composés ferreux, non ferreux et des papiers/plastiques. Seule la fraction non ferreuse (dont l'électrolyte et les électrodes carbonées, notamment) est ensuite soumise à un traitement physico-chimique acide, permettant de séparer les éléments.

Le procédé hydrométallurgique typique se décompose selon les opérations suivantes :

- mise en solution des différents matériaux (par lixiviation ou dissolution),

- purification,
- électrolyse permettant de récupérer le métal voulu sous forme métallique.

Le traitement par hydrométallurgie permet de valoriser le zinc, le nickel, le cobalt, le lithium, et le manganèse. [11]

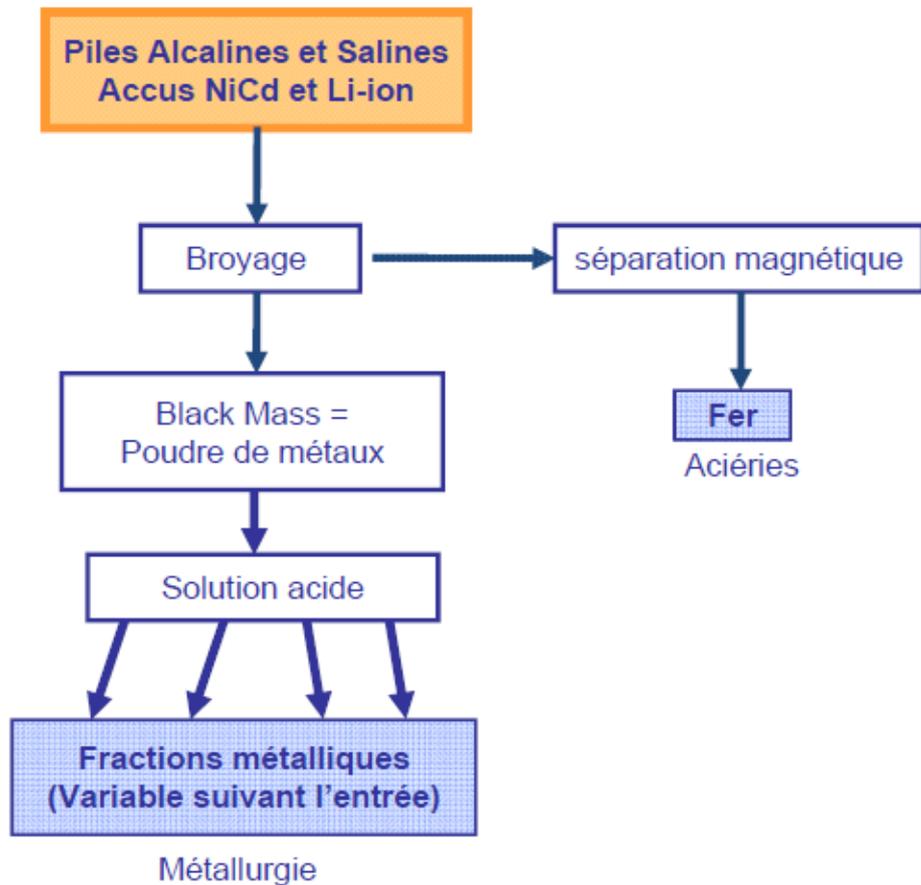


Figure 4 : Schéma de principe de l'hydrométallurgie [9]

Le projet de R&D « Cyclade », réunissant Recupyl, l'INERIS, le Laboratoire d'Electrochimie et de Physicochimie des Matériaux et des Interfaces de Grenoble (LEPMI) et Derichebourg a pour objectif le développement de procédés de valorisation des batteries Li-Ion par hydrométallurgie.

3.2 PRINCIPAUX SITES DE TRAITEMENT EN ACTIVITE

L'Ademe recensait en 2012 17 sites de traitement des piles et accumulateurs en France, dont ceux traitant les P&A au Li sont répertoriés dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Principaux opérateurs français de traitement des P&A au Li [7]

Operateur de traitement	Procédés	Capacité (totale ou spécifique aux P&A au lithium selon les cas)	Localisation
Euro Dieuze (piles et accumulateurs Li)	Tri, broyage, hydrométallurgie (précipitation par voie chimique)	5 000 t/an	57260 DIEUZE
Recupyl (accumulateurs Li-ion)	Tri, broyage (site pilote qui utilise l'hydrométallurgie)	110 t/an (pour Li)	38420 DOMENE
Séché Environnement (piles Li)	Inertage et incinération avec valorisation énergétique et matière (non spécifiquement dédié au P&A)	300 t/an (pour Li)	01150 SAINT VULBAS
SNAM (accumulateurs Li)	Broyage, distillation, pyrolyse, affinage	300 t/an (pour Li)	12110 VIVIEZ
Valdi Le Palais sur Vienne (VLP) (piles Li)	Pyrométallurgie		87410 LE PALAIS SUR VIENNE

Les principaux sites de traitement à l'international sont présentés dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Principaux opérateurs de traitement des P&A au lithium à l'international [12]

Operateur de traitement	Procédés	Capacité (totale ou spécifique aux P&A au lithium selon les cas)	Localisation
BATREC INDUSTRIE AG	Pyrométallurgie	3000 t/an (pour piles Li)	Suisse
Umicore	Pyrométallurgie	7000 t/an	Belgique
Toxco	Hydrométallurgie	3500 t/an	USA/Canada
XSTRATA	Pyrométallurgie, hydrométallurgie	3000 t/an	Canada

4. CLASSEMENT ET RISQUES

4.1 RISQUES DANS LES FILIERES DE TRAITEMENT DES DECHETS

4.1.1 ACCIDENTOLOGIE

Une étude des accidents impliquant les P&A au lithium survenus dans le monde met en évidence qu'un certain nombre d'entre eux (~16 % pour les seuls accidents liés aux batteries des véhicules électriques, d'après [13]) sont survenus lors des opérations de collecte, traitement ou recyclage des batteries au lithium en fin de vie, en particulier lors des phases de stockage de ces déchets. Ceci n'est pas étonnant : pour des opérations de gestion d'un produit en fin de vie, les risques sont forcément plus importants que pour les opérations de mise sur le marché du même produit, *a fortiori* si ce produit dispose d'un potentiel de danger.

Une liste indicative de ces accidents est dressée ci-après [14, 15].

- Incident à Saint-Pryve-Saint-Mesmin (France, 9 septembre 2013) : feu dans un fût de reconditionnement des piles au lithium.
- Incident à Feurs (France, 25 février 2013) : un feu se déclare dans un fût scellé de piles boutons au lithium.
- Incident à Saint-Quentin Fallavier (France, 28 Novembre 2012) : un incendie s'est déclaré dans un entrepôt d'une usine de récupération et de recyclage de piles et de batteries dans un stock de 250 tonnes de batteries (Li, nickel cadmium, Ni-MH, etc.).
- Incident à Lasham (UK, 26 aout 2011) : un incendie s'est déclaré dans un entrepôt d'une usine de recyclage de batterie (Loddon Recycling). Le feu aurait pour origine un court-circuit dans un fût de stockage de batteries alcalines ainsi que des batteries au lithium usagées. Le feu s'est accompagné d'explosions et de fumées et a entraîné la destruction du bâtiment.
- Incident à Saint-Vulbas (France, 18 mai 2011) : un opérateur charge des seaux contenant des batteries au lithium usagées dans le monte-charge d'un four rotatif d'une usine d'incinération de déchets dangereux quand un des seaux dégage une forte fumée puis s'enflamme (une réaction entre les piles au lithium et d'autres déchets serait à l'origine de l'incendie).
- Incident à Carterville (USA, 16 avril 2011) : incendie dans un centre de recyclage des batteries rechargeables appartenant à Métal Conversion Technologies, le feu aurait pour origine des fûts remplis de petites batteries à usage domestique de différentes technologies (Ni-Cd, batteries au lithium, etc.). le feu s'est accompagné d'explosions et de fumées et a entraîné la destruction d'un bâtiment.
- Incendie survenu à Dieuze (France, 26 Août 2010) : un violent incendie est survenu dans un hall de stockage de batteries et piles usagées (d'électrochimies variées) en attente de traitement dans une usine d'Euro Dieuze Industrie.

- Incident survenu à Trail (Canada, 7 novembre 2009) : incendie impliquant un stockage de masse de batteries contenant des batteries au lithium (sans doute en mélange avec bien d'autres technologies de batteries) sur le site de la société (Toxco) qui s'affiche comme l'un des leaders dans le domaine du recyclage des batteries au lithium. Le feu a été particulièrement intense et a émis énormément de chaleur dans la zone de départ de feu, empêchant toute détermination précise des causes du sinistre. Une forte suspicion porte sur un emballement thermique d'une première et unique batterie avec propagation aux produits stockés à proximité.
- Incendie chez le recycleur britannique G&P Battery Ltd (25 mars 2008) : feu dans un stock de batteries acide-plomb. Ce feu a progressé vers un lieu de stockage de batteries au lithium, ces dernières ont explosé et ont généré d'importants dégâts.
- Incident de Preston (UK, 2 juillet 2007) : un incendie majeur (avec projections de fûts en l'air, importante production de fumées toxiques...) est survenu sur le site de Preston exploité par Veolia ES Cleanaway filiale britannique du groupe Veolia, et a impliqué plus de 132 000 litres de produits chimiques inflammables. Le démarrage du feu est attribué à des inflammations spontanées de batteries (ou piles ?) au lithium. Ces batteries étaient stockées dans des containers accueillant normalement des déchets cliniques, non étanches à l'eau et inappropriés au stockage de batteries lithium usagées. Le stockage des batteries était réalisé à proximité de diverses matières incompatibles et sans application de règles de ségrégation appropriées (liquides inflammables, produits toxiques, produits corrosifs).
- Incident à Chauvigny (France, 8 novembre 2004) : dans une usine de collecte et démantèlement d'ordinateurs et autres appareils électroménagers, un fût de 57 kg de piles au lithium explose à la suite d'une erreur de manipulation dans le conditionnement des piles en vrac. L'explosion résulterait du mélange lithium/eau/chaleur ayant dégagé de l'hydrogène et d'un court-circuit engendré par les piles.
- Incident à Limay (France, 29 mars 2004) : un feu se déclare dans une zone de 10 m² d'une usine de traitement de déchets. Le bâtiment concerné abrite des déchets variés en transit (piles usagées, aérosols, déchets toxiques destinés au stockage en formation géologique..). Un court-circuit entre plusieurs piles, notamment au lithium, présentes dans le mélange de piles alcalines et salines serait à l'origine de l'accident.
- Incident à Rogerville (France, 20 juillet 2000) : lors d'une manutention dans une usine retraitant des piles usagées, des explosions et un feu ont lieu dans deux conteneurs de piles de lithium. Des piles tombées au sol lors de leur manutention, endommagées par les fourches du chariot élévateur, avaient été déposées dans un cubitainer à proximité des conteneurs. Les opérateurs notent une fumée blanche sortant de ce dernier et une pile qui fuyait. Peu après une pile éclate (piles en court-circuit, H₂ formé par réaction entre Li et humidité de l'air, échauffement piles), puis d'autres, le feu se propage ensuite aux conteneurs.

4.1.2 ELEMENTS D'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Plusieurs études d'analyse des risques et du retour d'expérience sur la filière véhicule électrique et les systèmes de stockage d'énergie ont été réalisées par l'INERIS ces dernières années (notamment [14], [15] et [16]).

Ces études ont évalué la criticité et la maîtrise de différents scénarii, dont 6 sont associés aux étapes recyclage et élimination des batteries au lithium en fin de vie. Les résultats de ces études sont reportés dans le Tableau 11, où le code couleur traduit la criticité des scénarii (en tenant compte à la fois de la maîtrise des risques et du niveau de criticité des risques tels qu'évalués).

Ces études mettent principalement en lumière les risques électrique, thermique, d'inflammabilité et de propagation d'incendie. Toutefois, le risque chimique, lié à la composition des batteries, est également mentionné, notamment en lien avec les émissions potentielles de gaz toxiques (HF) en cas de combustion.

Tableau 11 : Analyse préliminaire des risques liés aux étapes de recyclage et élimination des batteries au Li [16]

Sujets / risques Identifiés	Causes	Conséquences	Criticité (cotée de 1 à 4)	Maîtrise (cotée de 1 à 4)	Acteurs impliqués	Suggestions / Préconisations
Problématique de gestion des risques au niveau de la collecte, stockage, recyclage et élimination des batteries usagées	<ul style="list-style-type: none"> - Etats de charge inconnus et variés - Chocs mécaniques ou agressions externes dus aux opérations de manutention, transport, stockage - Grande diversité de provenance des flux de batteries (accidentées, fin de vie, maintenance, ...) de technologies différentes. - Probabilités des courts-circuits externes plus importantes lors de transport, manipulation, stockage de batteries en vrac ou conditionnées avec moins de précautions et sans emballage dédié que des batteries neuves 	<ul style="list-style-type: none"> - Chocs électriques - Accidents au cours de la manutention - Emballement thermique-Explosions - Feux / incendies - Dispersion toxiques - Pollution environnementale (air, eau et sol), etc.... 	4	3	<ul style="list-style-type: none"> - Associations professionnelles (Recharge, PRBA...) - Industriels du recyclage - Bureaux d'études-Bureaux de contrôle - Pouvoirs publics - Communauté scientifique - Services d'intervention 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport soumis à la réglementation TMD mais celle-ci couvre principalement les batteries neuves. Les batteries usagées ne sont que très partiellement traitées. Il faudrait harmoniser les bonnes pratiques au niveau de l'ONU : soutenir la démarche tout juste amorcée. - Pré conditionner les batteries avant transport en amont du circuit de collecte en les neutralisant (immersion dans eau saline) ou a minima, protection des bornes (pour seconde vie). - Former les intervenants aux risques spécifiques - Stockage : Réviser les référentiels réglementaires ICPE en prenant en compte les spécificités des technologies Li-ion de forte puissance en intégrant le REX significatif. - Identification des mesures de prévention et des sites sensibles et organisation des stockages en conséquence : distances de sécurité, séparations, murs coupe-feu, règles d'ilotage, problèmes d'incompatibilité...

Sujets / risques Identifiés	Causes	Conséquences	Criticité (cotée de 1 à 4)	Maîtrise (cotée de 1 à 4)	Acteurs impliqués	Suggestions / Préconisations
Risques liés à la mise en oeuvre de procédés émergents visant au recyclage de l'élément Lithium	Aujourd'hui le Li n'est pas recyclé contrairement aux autres éléments des batteries, ce qui risque de changer au cours du temps. La présence de Li métallique peut rendre ces procédés à risques.	Conséquences liées à la réactivité de Lithium métallique et ses composés comme LiOH ou Li ₂ O potentiellement corrosifs et risque de formation de l'hydrogène en contact avec l'eau --> ATEX, explosion, feux, dispersion toxique, pollution environnementale (air, eau et sol), etc...	2	4	- Associations professionnelles (Recharge, PRBA...) - Industriels du recyclage - Bureaux d'études - Pouvoirs publics - Communauté scientifique	Bonnes pratiques à développer au niveau industriel
Risques nano liés aux procédés de recyclage des matériaux nanostructurés	Présence des matériaux nanostructurés, tels que carbone nanotube, Nano particules de TiO ₂ , etc.	Impacts sur la santé des opérateurs, publics et environnement	2	3	- Associations professionnelles (Recharge, PRBA...) - Industriels du recyclage - Bureaux d'études - Pouvoirs publics - Communauté Scientifique	- Bonnes pratiques à développer au niveau industriel - Moyens de prévention et de protection - Réglementation adéquate à développer
Risques liés à l'utilisation des batteries de deuxième vie	- Etats de charge inconnus et variés - Etats physiques dégradés - Résistances internes variées	Risques de surcharge ou surdécharge importants --> risques accrus d'emballement thermiques	3	3	- Associations professionnelles (Recharge, PRBA...) - Industriels du recyclage - Pouvoirs publics	- BMS dédié et performant - Moyens de détection de température
Apparition de filières de traitement illicites	Recyclages opportunistes liées à la valeur ajoutée des matériaux des batteries (cobalt par exemple) par des particuliers/professionnels dans des conditions illégales	- Non maîtrise des règles de sécurité et des impacts sanitaires - Perturbation du marché légal du recyclage	2	3	- Pouvoirs publics - Associations professionnelles	- Contrôle de la mise en place des filières
Problématiques liées aux coûts élevés du traitement de certaines électrochimies (exemple : LiFePO ₄)	- Faible valeur des produits recyclés - Coûts non suffisamment intégrés lors du développement de la filière	- Décharges sauvages avec impacts sur l'environnement et la sécurité des personnes - Développement de filières de traitements illégales (exemple : expédition vers des pays lointains)	2	4	Tous les acteurs de la filière	- Anticipation des coûts de recyclage d'une filière et intégration de ceux-ci en amont - Soutien des filières de recyclage - Recherche de débouchés pour les produits de valorisation

4.2 PREMIERE EVALUATION DU CLASSEMENT EN TANT QUE DECHETS DES BATTERIES AU LITHIUM

Une recherche des substances composant les piles et batteries au lithium a été menée, afin de conduire une première évaluation du classement en tant que déchets dangereux des P&A au lithium en fin de vie, sur la base des propriétés de danger H1-H15 [17].

Les résultats de cette recherche figurent dans le Tableau 12, et sont présentées par typologie de P&A. Compte-tenu de la diversité des procédés et techniques de fabrication existants, cette recherche ne se veut pas exhaustive.

Lorsqu'elles étaient disponibles, les données de concentration de ces substances dans chaque type de P&A y ont été reportées. Les phrases de risques de ces substances ont également été recherchées sur le site de l'ECHA (en reportant la classification harmonisée lorsqu'elle existe, la classification majoritaire parmi les notifications de l'inventaire C&L sinon), ce qui a permis d'établir les seuils à partir desquels chacune des substances, à elle seule, classerait le déchet.

Ainsi, lorsque la concentration d'une substance dans un type de P&A est disponible et dépasse un des seuils de classement qui lui est associé, celle-ci est colorée en rouge, et le type de P&A concerné peut donc être considéré comme un déchet dangereux. Lorsqu'un type de P&A contient une substance inflammable, qui permet de suspecter qu'une fois devenue déchet, cette batterie sera classée par la propriété H3, la couleur utilisée est orange. Des tests d'inflammabilité pourraient toutefois être réalisés pour valider cette présomption. Enfin, les P&A non colorés ne doivent pas être considérés comme des déchets non dangereux pour autant ; les données rassemblées ici ne permettent pas de conclure avec certitude quant au classement.

Pour les deux technologies de P&A pour lesquelles des données de concentration ont pu être trouvées, celles-ci mettent en évidence le classement en tant que déchet dangereux de ces P&A en fin de vie.

Pour les autres technologies :

- la mention de substances dangereuses comme composants de la batterie (et donc non considérées comme additifs ou traces) pouvant pour certaines classer à elles seules le déchet au-delà de 0,1%, 0,5% ou 1% selon les propriétés de danger,
- le nombre de substances dangereuses présentes dans chaque P&A et les règles d'additivité s'appliquant entre les substances présentant une même propriété de danger (hors CMR),
- la présence quasi-systématique d'au moins un composant inflammable,

sont autant d'éléments en faveur d'une présomption de classement en tant que déchets dangereux des P&A au lithium en fin de vie, et plus particulièrement pour les technologies Li-métal, qui contiennent pour la plupart plusieurs composants inflammables, dont le lithium.

Tableau 12 : Substances présentes dans les différents types de batteries au lithium [18]

Type de batterie	Technologie Li	Substances	CAS	Gammes de concentrations dans les batteries (%)	Phrases de risques	Propriétés de danger et seuils de classement associés
Pile Lithium-manganèse (Li-MnO ₂)	Li métal	Lithium	7439-93-2	2,4	R14/15; R34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
		Carbonate de propylène	108-32-7	9	R36	H4 (20%)
		Dioxyde de manganèse	1313-13-9	22	R20/22	H5 (25%)
		Diméthoxyéthane	110-71-4	5,8	R11 R19 R20 R60 R61	H3 (sans seuil) H5 (25%) H10 (0,5%)
		Perchlorate de lithium (pile bouton)	7791-03-9	1	Oxydant fort ; R36/37/R38	H2 (sans seuil) H4 (20%)
		Lithium triflate	33454-82-9		R22 R36/37/38	H4 (20%) H5 (25%)
		Graphite	7784-42-5	5,5		
		Acier inoxydable	/	50,5		
		Dioxolane	646-06-0		R11	H3 (sans seuil)
		Noir de carbone	1333-86-4			
Pile Lithium-monofluorure de carbone Li(CF) _x	Li métal	Acier inoxydable	/	70-80		
		Monofluorure de carbone	51311-17-2	6-12	R36/37/38	H4 (20%)
		Carbonate de propylène	108-32-7	2-6	R36	H4 (20%)
		Polypropylène	9003-07-0	2-6		
		Diméthoxyéthane	110-71-4	2-4	R11 R19 R20 R60 R61	H3 (sans seuil) H5 (25%) H10 (0,5%)
		Lithium	7439-93-2	1-3	R14/15; R 34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
		Lithium tétrafluoroborate (electrolyte)	14283-07-9		R20/21/22 R35 R34	H5 (25%) H8 (5%)
		O-Butyrolactone (electrolyte)	96-48-0		R22 R36	H5 (25%) H4 (20%)
Pile Lithium disulfure de Fer (Li-FeS ₂)	Li métal	Noir de carbone	1333-86-4			
		Diméthoxyéthane	110-71-4		R11 R19 R20 R60 R61	H3 (sans seuil) H5 (25%) H10 (0,5%)
		Dioxolane	646-06-0		R11	H3 (sans seuil)
		Graphite	7784-42-5			
		Disulfure de fer	1309-36-0			

Type de batterie	Technologie Li	Substances	CAS	Gammes de concentrations dans les batteries (%)	Phrases de risques	Propriétés de danger et seuils de classement associés
Pile Lithium disulfure de Fer (Li-FeS ₂) (suite)		Lithium	7439-93-2		R14/15; R34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
		Iodure de lithium	10377-51-2		R36/38	H4 (20%)
Pile Lithium-Dioxyde de soufre (Li-SO ₂)	Li métal	Acetonitrile (electrolyte)	75-05-8		R11 R20/21/22 R36	H3 (sans seuil) H5 (25%) H4 (20%)
		Dioxyde de soufre	7446-09-5		R23, R34	H6 (3%) H8 (5%)
		Lithium	7439-93-2		R14/15; R34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
		Bromure de lithium	7550-35-8		R22 R36/38	H4 (20%) H5 (25%)
Pile Lithium-chlorure de thionyle	Li métal	Lithium	7439-93-2		R14/15; R34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
		Thionylchloride, SOCl ₂	7719-09-7		R14 R20/22 R29 R35	H3 (sans seuil) H5 (25%) H12 (sans seuil) H8 (1%)
		Lithium tetrachloroaluminate AlCl ₄ Li	14024-11-4		R41 R20/21/22 R34	H4 (10%) H5 (25%) H8 (5%)
Pile Lithium iode (Li-I ₂)	Li métal	Iode	7553-56-2		R20/21 R50	H5 (25%) H14 (sans seuil)
		Lithium	7439-93-2		R14/15; R34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
Accumulateur Lithium-carbone	Li-ion	Noir de carbone	1333-86-4			
		Biphényle	92-52-4		R36/37/38 R50-53	H4 (20%) H14 (sans seuil)
		Carbonate de diéthyle	105-58-8		R10	H3 (sans seuil)
		Carbonate de diméthyle	616-38-6		R11	H3 (sans seuil)
		Carbonate d'éthylène	96-49-1		R41 R36/37/38	H4 (20%) H4 (10%)
		Ethyl methyl carbonate	623-53-0		R10 R36/37/38	H3 (sans seuil) H4 (20%)
		Graphite	7784-42-5			
Dioxyde de cobalt et de lithium (LiCoO ₂)	12190-79-3			R42/43	H13 (sans seuil)	

Type de batterie	Technologie Li	Substances	CAS	Gammes de concentrations dans les batteries (%)	Phrases de risques	Propriétés de danger et seuils de classement associés
Accumulateur Lithium-carbone (suite)		Hexafluorophosphate de lithium (LiPF ₆)	21324-40-3		R41 R24 R22 R34	H4 (10%) H5 (25%) H6 (3%) H8 (5%)
		Tetrafluoroborate de lithium (LiBF ₄)	14283-07-9		R20 R21 R22 R34	H5 (25%) H8 (5%)
		N-méthyl-2-pyrrolidone	872-50-4		R36/37/38 R61	H4 (20%) H10 (0,5%)
		Acide oxalique	144-62-7		R21/22	H5 (25%)
		Carbonate de propylène	108-32-7		R36	H4 (20%)
		Dimethoxyethane	110-71-4		R11 R19 R20 R60 R61	H3 (sans seuil) H5 (25%) H10 (0,5%)
		Dioxolane	646-06-0		R11	H3 (sans seuil)
		Lithium	7439-93-2		R14/15; R 34	H3 (sans seuil) H8 (5%)
		Perchlorate de lithium	7791-03-9		Oxydant fort ; R36/37/38	H2 (sans seuil) H4 (20%)
		Dioxyde de manganèse	1313-13-9		R20/22	H5 (25%)
		Lithium triflate	33454-82-9		R22 R36/37/38	H4 (20%) H5 (25%)
		Bis(trifluoromethane)sulfonimide de lithium	90076-65-6		R24/25 R48/22 R34 R52-53	H5 (25%) H6 (3%) H8 (5%) H14 (sans seuil)
		Cuivre	7440-50-8			
		Aluminium	7429-90-5		R11 R15	H3 (sans seuil)
		Nickel	7440-02-0		R40 R48/23 R43 R52-53	H6 (3%) H7 (1%) H13 (sans seuil) H14 (sans seuil)
Fer	7439-89-6					
Acétate de méthyle	79-20-9		R11 R36 R66 R67	H3 (sans seuil) H4 (20%)		
Plastiques, céramiques, autres...						
Accumulateur Lithium polymère	Li-ion	Dioxyde de cobalt et de lithium (LiCoO ₂)	12190-79-3		R42/43	H13 (sans seuil)

Type de batterie	Technologie Li	Substances	CAS	Gammes de concentrations dans les batteries (%)	Phrases de risques	Propriétés de danger et seuils de classement associés
Accumulateur Lithium polymère (suite)		Aluminium	7429-90-5		R11 R15	H3 (sans seuil)
		Graphite naturel	7784-42-5			
		Graphite artificiel	7740-44-0			
		Cuivre	7440-50-8			
		Polymère électrolyte	/		F	H3 (sans seuil)
		Manganate de lithium (LiMn ₂ O ₄)	12057-17-9		R20/22 R23	H5 (25%) H14 (sans seuil)
Accumulateur Dioxyde de cobalt et de lithium	Li-ion	Dioxyde de cobalt et de lithium (LiCoO ₂)	12190-79-3		R42/43	H13 (sans seuil)
		Carbonate d'alkyle (électrolyte)	/		Xi ou F	H3 ou H4
		Graphite	7784-42-5			
Accumulateur Dioxyde de nickel et de lithium	Li-ion	Dioxyde de nickel et de lithium (LiNiO ₂)	12031-65-1		R49 R48/23 R43	H6 (3%) H7 (0,1%) H13 (sans seuil)
Accumulateur Lithium vanadium (Li-Ag ₂ V ₄ O ₁₁ , Li-SVO, Li-CSVO) oxyde d'argent+ Pentoxyde de vanadium(SV O)	Li-ion	Pentoxyde de vanadium V ₂ O ₅	1314-62-1		R20/22 R37 R48/23 R51-53 R63 R68	H5 (25%) H4 (20%) H6 (3%) H14 (sans seuil) H10 (5%) H11 (1%)
		Hexafluorophosphate de lithium (LiPF ₆)	21324-40-3		R41 R24 R22 R34	H4 (10%) H5 (25%) H6 (3%) H8 (5%)
		Diméthoxyéthane	110-71-4		R11 R19 R20 R60 R61	H3 (sans seuil) H5 (25%) H10 (0,5%)
		Carbonate de propylène	108-32-7		R36	H4 (20%)
Accumulateur Lithium chromate d'argent (Li-Ag ₂ CrO ₄)	Li-ion	Chromate d'argent (Ag ₂ CrO ₄)	7784-01-2		R49 R8 R43 R50-53	H2 (sans seuil) H7 (0,1%) H13 (sans seuil) H14 (sans seuil)
		Perchlorate de lithium	7791-03-9		Oxydant fort ; R36/37/38	H2 (sans seuil) H4 (20%)

5. CONCLUSION

Les éléments rassemblés dans cette étude, relatifs à l'accidentologie comme au contenu en substances dangereuses, laissent penser qu'un classement automatique et officiel des déchets de P&A au lithium comme dangereux, via la proposition d'une entrée spécifique de la nomenclature (ou plusieurs, distinguant les technologies mises en œuvre, comme c'est le cas dans la réglementation transport) pourrait être envisagé. Toutefois, cet avis ne s'appuie que sur des présomptions fortes, l'étude n'ayant permis de rassembler, à ce stade, suffisamment de données pour prouver le classement en tant que déchets dangereux par les propriétés H1-H15 pour tous les types de P&A au lithium.

Il est toutefois rappelé ici que le caractère dangereux d'un déchet n'est en aucun cas un obstacle à sa valorisation du point de vue réglementaire. Cette classification et les contraintes qui en découlent ont pour objectif d'alerter les acteurs sur les dangers associés à cette matrice, sans pour autant empêcher son intégration au cycle de l'économie circulaire.

La présente étude a également mis en évidence le caractère encore émergent des filières de traitement tenant compte des spécificités des batteries au lithium. A travers le projet Cyclade, l'INERIS participe à l'évaluation et la réduction des risques de ces filières émergentes en travaillant à la définition de protocoles de diagnostic des batteries en fin de première vie et aux protocoles de sécurité associés.

La criticité des stockages de P&A mise en évidence par l'accidentologie doit également être soulignée, avec un accent particulier porté sur les déchèteries, compte-tenu de la présence du public.

Si l'étude spécifique des risques sur les filières de traitement des P&A au lithium semble dans l'immédiat encore prématurée compte-tenu du stade actuel de développement des techniques, une veille pourrait être mise en place pour assurer un suivi des techniques, procédés et pratiques développés et mis en œuvre. Ce suivi pourrait notamment permettre d'envisager, à plus long terme, l'approfondissement du classement de certaines technologies spécifiques, sélectionnées en fonction des méthodes de collecte, de tri et de traitement particuliers qui pourraient être développées à l'avenir.

REFERENCES

- [1] G., Labbé J.F. et Daw (2012) - Panorama 2011 du marché du lithium. Rapport public. BRGM/RP-61340-FR 154p., 51fig., 29tab
- [2] Institut de l'économie circulaire - Schéma de l'économie circulaire. Récupéré de : <http://www.institut-economie-circulaire.fr>
- [3] Dossier de presse : Les nouvelles sources d'énergie miniatures pour applications nomades, 21/05/2008. Récupéré de : www.cea.fr
- [4] Screelec, Fiche technique - les piles. Récupéré de : <http://www.screlec.fr/fra/fiche-technique/les-piles>
- [5] Principe de fonctionnement d'un accumulateur au lithium. Batterie lithium-ion. Récupéré de : www.platformeco.com
- [6] Screelec, Fiche technique - les accumulateurs. Récupéré de : <http://www.screlec.fr/fra/fiche-technique/les-accumulateurs>
- [7] ADEME (2013) - Rapport Annuel sur les données 2012 – Registre des Piles et Accumulateurs - septembre 2013. Récupéré de : <http://www2.ademe.fr>
- [8] ADEME(2011) - Etude de la seconde vie des batteries des véhicules électriques et hybrides rechargeables - Juin 2011. Récupéré de : <http://www2.ademe.fr>
- [9] M. Ottaviani - ANIE Association of Electrotechnical and Electronics Companies operating in Italy. Damaged, Defective or Waste Batteries New provisions for Lithium Batteries transport in the UN Model Regulation. 18th International Congress for Battery Recycling – ICBR 2013 September 11 – 13, 2013, Dubrovnik, Croatia
- [10] Corepile - Les procédés de recyclage des piles et accumulateurs usagés. Récupéré de : www.corepile.fr
- [11] Recupyl – Hydrométallurgie. Récupéré de : www.recupyl.fr
- [12] Journal des Mines (2011) – C. Siret, N. Paquin (décembre 2011). Récupéré de : http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/media/pressCoverage/media_2011_pressCoverage.html
- [13] INERIS, D. Schach-Tigreat (2013) - Mise à jour de l'analyse préliminaire des risques spécifiques de la filière véhicules électriques
- [14] INERIS, G. Marlair (2010) - Accidentologie relative aux systèmes de stockage d'énergie électrochimique : analyse du retour d'expérience
- [15] Base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents), récupéré de : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/rechercher-un-accident/>
- [16] INERIS, G. Marlair, L. Dupont (2011) - Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques - Analyse préliminaire des risques

- [17] INERIS, P. Hennebert, F. Rebischung (2013) - Guide de classement des déchets selon leur dangerosité suivant le Code de l'Environnement et la réglementation SEVESO II (partie applicable aux déchets)
- [18] Ökopol GmbH (2008) - Final Report - European List of Waste. Récupéré de : <http://www.ec.europa.eu/>
- [19] D. Tigréat, A. Lecocq, G. Marlair, S. Boyanov, S. Laruelle, G. G. Eshetu - INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques) – France Laboratoire de Réactivité et de Chimie du Solide, CNRS, UPJV, Amiens. - Battery safety evaluation during recycling operations
- [20] INERIS, G. Marlair, M. Kazmierczak (2010) – Evaluation de l'adéquation du contexte réglementaire ICPE aux batteries à base de lithium
- [21] INERIS, A. Lecoq, S. Boyanov (2012) - Rapport d'essais abusifs sur les batteries et analyse des gaz émis
- [22] INERIS, G. Marlair, J. Lejosne (2010) - Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques : Données de base sur les différentes technologies de stockage d'énergie
- [23] INERIS (2012) – INERIS références, batteries et sécurité, octobre 2012
- [24] C&L Inventory database. Recupéré de : <http://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database>



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - Internet : <http://www.ineris.fr>