

DESCRIPTION

5 **Titre : Procédé d'extraction, de manière sécurisée, de lithium d'une batterie électrique comprenant du lithium métallique solide.**

[0001] La présente invention concerne un procédé d'extraction de lithium d'une batterie comprenant du lithium métallique solide, de manière sécurisée.

[0002] Le domaine de l'invention est le domaine des batteries à base de
10 lithium métallique solide, et en particulier des batteries Lithium-Métal-
Polymère, et encore plus particulièrement le domaine du recyclage de ces
batteries.

15 État de la technique

[0003] On connaît des batteries à base de lithium métallique solide ou quasi solide, telles que par exemple les batteries Lithium-Métal-Polymère (LMP®). Ces batteries sont de plus en plus utilisées, par exemple dans des véhicules électriques ou dans des stations d'alimentation électrique. Ainsi, le nombre de batteries à base de lithium métallique solide ou quasi solide augmente sans

[0004] La durée de vie de telles batteries n'est pas infinie et il paraît nécessaire de recycler ces batteries. Or, même en fin de vie, une telle batterie comprend encore du lithium métallique solide, qui peut être réutilisé dans d'autres batteries ou dans d'autres domaines, et dont la valeur est non négligeable.

[0005] Il existe actuellement très peu de techniques de récupération de lithium métallique solide dans une batterie. Ces rares techniques prévoient de chauffer la batterie à une température supérieure ou égale à la température de fusion du lithium métallique solide pour récupérer le lithium à l'état liquide. Cependant, ces techniques présentent un risque d'incendie de la batterie.

[0006] Un but de la présente invention est de remédier à cet inconvénient.

- 2 -

[0007] Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de récupération du lithium métallique solide ou quasi solide dans une batterie, pour toutes les configurations où la cathode et l'électrolyte sont stables jusqu'à au moins 181°C (ou jusqu'à la température de fusion du lithium), de
5 cellules de stockage d'énergie électrique de manière efficace en limitant et en maîtrisant l'effet de potentiels courts-circuits lors de la récupération du lithium.

10

Exposé de l'invention

[0008] L'invention permet d'atteindre au moins l'un de ces buts par un procédé d'extraction de lithium d'une batterie, telle qu'une batterie à électrolyte au lithium solide ou quasi solide, comprenant au moins deux
cellules de stockage d'énergie électrique ;

15 chaque cellule comprenant une électrode positive, une électrode négative et du lithium métallique solide ou quasi solide ;

ladite batterie comportant une première bordure d'où dépassent les électrodes négatives desdites cellules et une deuxième bordure, opposée à ladite première bordure, et d'où dépassent les électrodes positives ;

20 ledit procédé comprenant une phase d'extraction comprenant les étapes suivantes :

- positionnement de ladite batterie dans une orientation dans laquelle l'une desdites première et deuxième bordures se trouve en dessous de l'autre desdites première et deuxième bordures, et

25 - chauffage de ladite batterie à une température, dite de traitement, supérieure ou égale à la température de fusion dudit lithium métallique solide ;

caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de coupure de la liaison électrique entre les électrodes positives d'au moins deux, et en particulier de
30 toutes les, cellules de ladite batterie.

[0009] Ainsi, l'invention propose de récupérer le lithium métallique solide d'une batterie en chauffant ladite batterie à une température de traitement supérieure ou égale à la température de fusion du lithium métallique solide. Le lithium métallique, une fois fondu, s'évacue, en totalité ou en partie,

- 3 -

naturellement de chaque cellule. Ainsi, l'invention permet une récupération simple et peu complexe du lithium métallique solide.

[0010] En outre, l'invention propose une orientation spécifique de chaque cellule, cette dernière étant, au minimum, inclinée. Une telle orientation de
5 chaque cellule permet de faciliter l'écoulement du lithium fondu hors de la cellule par gravité.

[0011] Par ailleurs, et surtout, l'invention prévoit de réaliser une coupure de la liaison entre les électrodes positives d'au moins deux, préférentiellement, de toutes les cellules de la batterie. Autrement dit, l'étape de coupure permet
10 de rompre la liaison électrique entre les électrodes positives des cellules de la batterie. Ainsi, après l'étape de coupure, la batterie comprend une pluralité de cellules qui ne sont plus connectées électriquement entre elles, ce qui réduit la réactivité de la batterie, et donc les risques d'incendies de la batterie lors de la récupération du lithium.

15

[0012] La première bordure peut être caractérisée par le fait qu'elle définit le côté par lequel le lithium, une fois à l'état liquide, doit s'écouler.

[0013] Dans la présente demande, par « cellule de stockage d'énergie
20 électrique », ou « cellule », on entend un ensemble comprenant, au moins :
- une électrode négative formée par, ou comprenant, une couche de lithium métallique solide ;
- une électrode positive,
- un électrolyte solide, en particulier comprenant du sel de lithium,
25 disposée entre l'électrode positive et l'électrode négative, et
- un collecteur de courant du côté de l'électrode positive.

[0014] Dans la présente demande, le « lithium métallique solide ou quasi solide » peut comprendre :
30 - du lithium métallique pur ; ou
- une combinaison d'au moins un alliage de lithium métallique ; ou
- une combinaison de lithium métallique pur et d'au moins un alliage de lithium métallique.

- 4 -

[0015] Lorsque le « lithium métallique solide ou quasi solide » comprend une combinaison de différentes formes de lithium, telles que celles indiquées ci-dessus, présentant différentes températures de fusion, alors l'étape de chauffage réalise un chauffage de la batterie à une température de traitement
5 supérieure ou égale à :

- la plus basse desdites différentes températures de fusion ; et
- préférentiellement, la plus haute desdites différentes températures de fusion.

10 **[0016]** Suivant un exemple de réalisation non limitatif, la température de traitement est supérieure ou égale à 180.5°C.

[0017] Suivant un exemple de réalisation, la température de traitement est inférieure ou égale à une température maximale, par exemple de 300 °C.

15

[0018] La batterie peut comprendre un nombre de cellules supérieur ou égal à 2.

20 **[0019]** La batterie peut comprendre plusieurs cellules assemblées, ou en particulier empilées, suivant une direction d'assemblage. La direction d'assemblage peut être perpendiculaire au plan formé par chaque cellule.

[0020] En particulier, la batterie peut correspondre à une batterie dans laquelle les cellules sont reliées en série.

25

[0021] Suivant un mode de réalisation, l'étape de coupure peut réaliser une découpe de fils de connexion entre les électrodes positives suivant une ligne de découpe se trouvant au niveau, et en particulier à la limite, de la deuxième bordure, du côté desdits fils de connexion électriques.

30 **[0022]** Ce mode de réalisation permet de conserver, ou de ne pas ôter, de lithium métallique solide de la batterie, lors de la coupure des liaisons électriques, ce qui permet d'améliorer le rendement de récupération du lithium.

- 5 -

[0023] Dans ce mode de réalisation, la découpe des fils de connexion doit être suffisamment proche de la deuxième bordure de sorte qu'après la découpe qu'il n'y a plus de contact entre les différentes électrodes positives.

5 **[0024]** Suivant un autre mode de réalisation, l'étape de coupure peut réaliser une découpe des cellules suivant une ligne de découpe se trouvant au niveau, et en particulier à la limite, de la deuxième bordure, du côté desdites cellules.

10 **[0025]** Dans ce mode de réalisation, afin de diminuer la quantité de lithium perdue, la découpe doit être à proximité immédiate de la deuxième bordure.

[0026] Par exemple, la découpe peut être réalisée à une distance « d » de la deuxième bordure inférieure ou égale à 2mm, ou inférieure ou égale à 1% de la dimension des cellules entre la première et la deuxième bordures de la batterie.

15

[0027] L'étape de coupure peut être réalisée par massicotage.

[0028] Dans ce cas, la batterie est insérée dans un massicot de taille et de puissance adaptées.

20 **[0029]** Suivant des modes de réalisation, l'étape de coupure peut être réalisée avant le début de l'étape de chauffage.

[0030] Suivant des modes de réalisation, l'étape de coupure peut être réalisée après le début de l'étape de chauffage. Dans ce cas, préférentiellement, l'étape de coupure peut être réalisée avant que lithium

25 métallique solide commence à fondre.

[0031] Suivant des modes de réalisation, l'étape de coupure peut être réalisée avant l'étape de positionnement.

30 **[0032]** Suivant des modes de réalisation, l'étape de coupure peut être réalisée après l'étape de positionnement.

[0033] Suivant des modes de réalisation, l'étape de coupure peut être réalisée pendant l'étape de positionnement.

[0034] Suivant une caractéristique particulièrement avantageuse, le procédé selon l'invention peut en outre comprendre, avant la phase d'extraction, une étape de chargement électrique de la batterie, ladite phase d'extraction étant appliquée à ladite batterie chargée.

- 5 **[0035]** Le fait de charger électriquement la batterie, et de réaliser la phase d'extraction sur les cellules électriquement chargées, permet d'augmenter le rendement d'extraction de lithium. En effet, le chargement électrique d'une cellule permet de déplacer les ions de lithium vers l'électrode négative, ce qui permet d'augmenter la quantité de lithium récupérable.
- 10 **[0036]** Chaque cellule peut être chargée de manière individuelle, ou par chargement électrique de la batterie.

- [0037]** Suivant un mode de réalisation particulièrement avantageux, la phase d'extraction peut en outre comprendre une étape de compression de la
15 batterie.

[0038] Ainsi, le lithium fondu est forcé à s'évacuer hors de chaque cellule, ce qui augmente la quantité de lithium récupérée.

- [0039]** L'étape de compression peut être réalisée, de manière continue, tout au long de la phase d'extraction. Dans ce cas, chaque cellule est soumise à
20 une compression, en partie ou en totalité, pendant toute la durée de la phase d'extraction.

- [0040]** Alternativement, l'étape de compression peut être réalisée de manière discrète, une ou plusieurs fois, pendant la phase d'extraction. Dans ce cas, la phase d'extraction comporte des moments où la batterie n'est pas
25 soumise à une compression.

- [0041]** Avantageusement, l'étape de compression peut appliquer une compression sur la surface de la batterie en balayant la surface de ladite batterie depuis la deuxième bordure vers la première bordure. Ainsi, le lithium fondu est amené/guidé progressivement vers la première bordure d'où
30 dépassent les électrodes négatives, ce qui augmente la quantité de lithium récupérée et diminue le risque de contact entre le lithium et les électrodes positives.

[0042] Par exemple, l'étape de compression peut être réalisée par passage de la batterie entre deux rouleaux.

[0043] Suivant un autre exemple, l'étape de compression peut être réalisée par un rouleau de compression venant comprimer la batterie contre une surface d'appui.

[0044] La compression peut être appliquée par passages successives, chaque passage balayant la surface de la batterie en commençant par la deuxième bordure vers la première bordure.

[0045] L'espace entre les rouleaux de compression, respectivement entre le rouleau de compression et la surface d'appui, peut correspondre à l'épaisseur de la batterie moins l'épaisseur des couches de lithium métallique solide. Cela permet d'appliquer une compression, tant qu'il reste du lithium solide dans la batterie.

[0046] L'espace entre les deux rouleaux de compression, respectivement entre le rouleau de compression et la surface d'appui, peut être diminué au fur et à mesure des passages successifs, de sorte à toujours appliquer une compression sur la batterie.

[0047] La vitesse de passage entre les rouleaux de compression, respectivement du rouleau de compression, et plus généralement la vitesse de balayage, peut être comprise entre quelques mm à quelques dizaines de mm, par seconde.

[0048] En outre, le procédé selon l'invention peut comprendre, avant la phase d'extraction, une étape d'enlèvement d'au moins un connecteur électrique de la batterie, également appelé « crimp » en anglais.

[0049] Cela permet de faciliter le traitement de la batterie.

[0050] En outre, le procédé selon l'invention peut comprendre, avant la phase d'extraction, une étape d'enlèvement des débordements de matière au niveau d'au moins une, et particulièrement de chaque, bordure de la batterie.

[0051] Suivant une première version, l'étape de positionnement peut réaliser un positionnement de la batterie dans une orientation dans laquelle

la première bordure de ladite batterie se trouve en dessous de la deuxième bordure de ladite batterie.

[0052] Une telle orientation de la batterie, et donc de chaque cellule de la batterie, permet d'une part de faciliter l'écoulement du lithium fondu hors de la cellule par gravité, et d'autre part d'éviter un contact entre le lithium fondu et les électrodes positives ou le collecteur de courant de l'électrode positive, un tel contact pouvant provoquer un court-circuit électrique ou un arc électrique, un tel court-circuit pouvant provoquer un incendie.

10 **[0053]** Suivant un mode de réalisation préféré de cette première version, l'étape de positionnement peut réaliser une mise en position verticale de la batterie, dans laquelle la première bordure se trouve vers le bas.

[0054] Ainsi, l'écoulement du lithium fondu hors de chaque cellule, par gravité, est amélioré.

15 **[0055]** De plus, le risque de contact entre le lithium fondu et l'(es) électrode(s) positive(s) est diminué, voire nul.

[0056] Préférentiellement, dans cette première version, l'étape de chauffage de la batterie peut être réalisée sous gaz inerte.

20 **[0057]** Ainsi, le procédé selon l'invention diminue des risques d'accidents, en particulier les risques d'incendie.

[0058] De plus, le procédé selon l'invention permet d'éviter la formation de composés polluants pouvant être générée par des réactions physico-chimiques non désirées, voire non contrôlées, lors de l'extraction du lithium.

25 **[0059]** Suivant un exemple de réalisation non limitatif, le gaz inerte peut être, ou comprendre, l'un quelconque des gaz suivants : l'hélium (He), le néon (Ne), l'argon (Ar), le krypton (Kr), le xénon (Xe) et le radon (Rn).

30 **[0060]** Suivant un autre mode de réalisation de cette première version, l'étape de chauffage de la batterie peut être réalisée sous vide.

[0061] Suivant une deuxième version, l'étape de positionnement peut réaliser un positionnement de la batterie dans une orientation dans laquelle

la première bordure de ladite batterie se trouve au-dessus de la deuxième bordure de ladite batterie. Dans ce cas, la phase d'extraction comprend en outre, avant l'étape de chauffage, une étape d'immersion de la batterie dans un liquide, dit de traitement, plus dense que le lithium liquide et
5 électriquement isolant.

[0062] Cette deuxième version, propose une orientation spécifique de chaque cellule, cette dernière étant a minima inclinée, de sorte que la première bordure d'où dépassent les électrodes négatives se trouve au-dessus du niveau de la deuxième bordure, opposée à la première bordure, d'où
10 dépassent les électrodes positives. Une telle orientation de chaque cellule permet d'une part de faciliter l'écoulement du lithium fondu hors de la cellule par différence de densité, et d'autre part d'éviter un contact entre le lithium fondu et les électrodes positives ou les collecteurs de courant des électrodes positives, un tel contact pouvant provoquer un court-circuit électrique, un tel
15 court-circuit pouvant provoquer un incendie. De plus, l'immersion de l'ensemble de cellule(s) dans un liquide permet d'améliorer la dissipation des calories de la cellule, notamment lors d'un court-circuit et donc d'en limiter fortement l'effet.

[0063] Dans la présente demande, par « densité » on entend le rapport
20 entre la masse volumique du liquide considéré et la masse volumique de l'eau.

[0064] Suivant un mode de réalisation préféré de cette deuxième version, l'étape de positionnement peut réaliser une mise en position verticale de la batterie, dans laquelle la deuxième bordure se trouve vers le bas.

25 **[0065]** Ainsi, l'écoulement du lithium fondu hors de chaque cellule, par différence de densité, est amélioré.

[0066] De plus, le risque de contact entre le lithium fondu et les électrodes positives est diminué, voire nul.

30 **[0067]** Préférentiellement, l'étape d'immersion peut être réalisée en immergeant la batterie complètement dans le liquide de traitement.

[0068] Le liquide peut être une huile naturelle ou de synthèse, comportant les propriétés physico-chimiques suivantes :

- 10 -

- hydrophobe et non réactif vis-à-vis du lithium,
- isolant électrique,
- ayant une densité supérieure à celle du lithium,
- thermiquement stable au-delà de la température de fusion du lithium, c'est-à-dire 180,5 °C,
- un point éclair, ainsi qu'un point d'auto-inflammation, aussi élevés que possible.

- 10 **[0069]** Suivant un autre aspect de la même invention, il est proposé une installation d'extraction de lithium d'une batterie, à électrolyte au lithium solide ou quasi solide, comprenant au moins deux cellules de stockage d'énergie électrique ;
- 15 chaque cellule comprenant une électrode positive, une électrode négative et du lithium métallique solide ou quasi solide ;
- ladite batterie comportant une première bordure d'où dépassent les électrodes négatives desdites cellules et une deuxième bordure, opposée à ladite première bordure, et d'où dépassent les électrodes positives ;
- ladite installation comprenant :
- 20 - un moyen de positionnement de ladite batterie dans une orientation dans laquelle l'une desdites première et deuxième bordures se trouve en dessous de l'autre desdites première et deuxième bordures ; et
- un moyen de chauffage configuré pour chauffer ladite batterie à une température, dite de traitement, supérieure ou égale à la
- 25 température de fusion dudit lithium métallique solide ;
- caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un moyen de coupure de la liaison électrique entre les électrodes positives d'au moins deux, et en particulier de toutes les, cellules de ladite batterie.
- 30 **[0070]** De manière générale, l'installation peut comprendre des moyens configurés pour mettre en œuvre une combinaison quelconque d'au moins une des caractéristiques décrites plus haut, et qui ne sont pas reprises ici en détail par souci de concision.

[0071] Par exemple, le moyen de coupure peut comprendre un massicot.

[0072] En particulier, le moyen de chauffage peut comprendre une étuve.

[0073] Avantageusement, l'étuve peut être remplie d'un gaz inerte, ou être
5 mise sous vide, ou encore être rempli d'un liquide de traitement plus dense que le lithium liquide.

[0074] L'installation selon l'invention peut comprendre en outre un moyen de compression de la batterie.

10 **[0075]** Le moyen de compression peut comprendre au moins un rouleau.

[0076] En particulier, le moyen de compression peut comprendre un unique rouleau venant comprimer la batterie contre une surface d'appui. La surface d'appui peut être chauffée pour accélérer la montée en température de la batterie.

15 **[0077]** Alternativement, le moyen de compression peut comprendre deux rouleaux entre lesquels est passée la batterie.

[0078] De manière générale, le moyen de compression peut être configuré pour appliquer une compression continue, tout au long de la phase d'extraction.

20 **[0079]** Alternativement, le moyen de compression peut être configuré pour appliquer une compression de manière discrète dans le temps, une ou plusieurs fois, pendant la phase d'extraction. Dans ce cas, la phase d'extraction comporte des moments où la batterie n'est pas soumise à une compression.

25 **[0080]** Avantageusement, le moyen de compression peut être configuré pour appliquer une compression, de valeur constante ou variable, de manière progressive ou par balayage sur la surface de la batterie, depuis la deuxième bordure vers la première bordure. Ainsi, le lithium fondu est amené/guidé progressivement vers la première bordure se trouvant en position basse, ce
30 qui augmente la quantité de lithium récupérée et diminue le risque de contact entre le lithium et les électrodes positives.

[0081] Dans le cas de l'utilisation d'un ou de deux rouleaux de compression, la compression peut être appliquée sur la batterie par passages successifs. Chaque passage applique une compression par balayage sur la surface de la

- 12 -

batterie, depuis la deuxième bordure vers la première bordure. A la fin de chaque passage, la compression peut être arrêtée, en écartant les rouleaux ou en écartant le rouleau de la surface d'appui, pour revenir à la deuxième bordure en vue de recommencer un nouveau passage.

- 5 **[0082]** La distance entre les rouleaux, respectivement entre le rouleau de compression et la surface d'appui, peut être diminuée au fur et à mesure des passages, et en particulier entre deux passages successifs.

- 10 **[0083]** L'invention peut être mise en œuvre pour traiter plusieurs batteries, en particulier plusieurs batteries formant un pack batterie et connectées entre elles en parallèle au sein dudit pack batterie.

[0084] Au moins deux batteries peuvent être alignées côte à côte, sans se recouvrir, par exemple dans une direction parallèle à la première bordure.

- 15 **[0085]** Dans ce cas, la compression peut être appliquée à au moins deux batteries par un même moyen de compression, à savoir un ensemble de rouleaux, ou un rouleau coopérant avec une surface d'appui.

Description des figures et modes de réalisation

- 20 **[0086]** D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée de modes de réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés sur lesquels :

- 25 - la FIGURE 1 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une cellule au sens de la présente invention ;
- la FIGURE 2 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une batterie au sens de la présente invention ;
- 30 - la FIGURE 3 est une représentation schématique d'un premier exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention ;
- la FIGURE 4 est une représentation schématique d'un deuxième exemple de réalisation d'un procédé selon l'invention ;
- la FIGURE 5 est une représentation schématique d'un troisième exemple de réalisation d'un procédé selon l'invention ;

- 13 -

- la FIGURE 6 est une représentation schématique d'un premier exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention ;
- 5 - la FIGURE 7 est une représentation schématique d'un deuxième exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention ; et
- les FIGURES 8a et 8b sont des représentations schématiques d'exemples de coupure de liaison électrique entre les électrodes positives des cellules de la batterie, pouvant être mis en œuvre dans
10 la présente invention.

[0087] Il est bien entendu que les modes de réalisation qui seront décrits dans la suite ne sont nullement limitatifs. On pourra notamment imaginer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques
15 décrites par la suite, isolées des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détail structurel, ou avec seulement une partie
20 des détails structurels si cette partie est uniquement suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure.

[0088] Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures conservent la même référence.

25

[0089] La FIGURE 1 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une cellule au sens de la présente invention.

[0090] La cellule 100, représentée sur la FIGURE 1, comprend une électrode négative 102 formée par, ou comprenant, une couche de lithium métallique solide.
30

[0091] La cellule 100 comprend en outre une électrode positive 104.

- 14 -

[0092] Une couche 106 d'électrolyte solide est disposée entre l'électrode négative 102 et l'électrode positive 104. Cette couche d'électrolyte solide 106 peut par exemple comprendre du sel de lithium.

5 **[0093]** L'électrode positive 104 est généralement formée par une couche de composite à base de polymère et de matière active. La cellule 100 peut comprendre en outre un collecteur de courant 108 du côté de l'électrode positive 104 et faisant partie de, ou associé à, l'électrode positive 104. Le collecteur de courant 108 est généralement réalisé en aluminium.

10 **[0094]** De manière classique, l'électrode négative 102 de la cellule 100 dépasse des autres éléments de la cellule 100 du côté d'une première bordure 110 de la cellule 100, ici vers la droite de la figure. L'électrode positive 104 avec collecteur de courant 108 dépasse des autres éléments de la cellule 100 du côté d'une deuxième bordure 112, opposée à la première bordure 110. Dans l'exemple représenté, seul le collecteur 108 dépasse sur la deuxième
15 bordure 112, ici vers la gauche de la figure. Dans d'autres exemples, le dépassement pourrait porter sur la seule électrode positive 104 ou aussi sur l'électrode positive 104 et le collecteur 108.

20 **[0095]** Bien entendu, la cellule 100 représentée sur la FIGURE 1, est une version de réalisation très simplifiée, donnée à titre d'illustration nullement limitative. La cellule au sens de la présente invention peut comprendre d'autre couches que celles indiquées, ou des couches plus nombreuses, ou des couches dont la composition est différente de la composition donnée ici à titre d'exemple non limitatif.

25

[0096] La FIGURE 2 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une batterie comprenant plusieurs cellules.

30 **[0097]** La batterie 200, représentée sur la FIGURE 2, comprend plusieurs cellules 100_1 - 100_n , identiques, assemblées suivant une direction 202 perpendiculaire au plan des couches de chaque cellule 100_i .

[0098] Chaque cellule 100_i peut être identique à la cellule 100 de la FIGURE 1.

[0099] La batterie 200 comprend des fils/pistes/lignes de connexion 202 des électrodes positives de toutes les cellules 100_1 - 100_n entre-elles. Ces lignes de

connexion 202 sont reliées à un connecteur 204 de la batterie 200 formant la borne positive de la batterie 200. Ce connecteur 204 est également appelé « crimp » en anglais.

5 **[0100]** La batterie 200 comprend des fils/pistes/lignes de connexion (non représentés) des électrodes négatives de toutes les cellules 100_1 - 100_n entre-elles. Ces lignes de connexion sont reliées à un connecteur (non représenté) de la batterie 200 formant la borne négative de la batterie 200.

10 **[0101]** La FIGURE 3 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention.

15 **[0102]** Le procédé 300, représenté sur la FIGURE 3, comprend une première étape 302, optionnelle, lors de laquelle les connecteurs électriques, et en particulier les concentrateurs de courants également appelés « crimps » en anglais, de la batterie, sont enlevés.

15 **[0103]** Lors d'une étape 304, optionnelle, des débordements de matière, et en particulier de lithium métallique solide, au niveau de chaque bordure latérale de la batterie sont enlevés.

20 **[0104]** Ensuite, le procédé 300 comprend une phase 306 d'extraction du lithium métallique des cellules de la batterie.

25 **[0105]** La phase d'extraction 306 comprend une étape 308 de positionnement de la batterie dans une orientation dans laquelle la première bordure d'où dépassent les électrodes négatives se trouve à un niveau plus bas que la deuxième bordure d'où dépassent les électrodes positives et/ou les collecteurs. En particulier, l'étape 308 positionne la batterie dans une orientation verticale, c'est-à-dire parallèle au vecteur de gravité, avec la première bordure d'où dépassent les électrodes négatives vers le bas. Préférentiellement, mais de manière nullement limitative, la batterie est maintenue dans cette orientation pendant toute la phase d'extraction 306.

30 **[0106]** La phase d'extraction 306 comprend en outre une étape 310 de chauffage de la batterie à une température de traitement supérieure ou égale à la température de fusion du lithium métallique solide présent dans la batterie, par exemple $180,5^{\circ}\text{C}$. Cette température va causer la fusion du lithium métallique solide et son extraction de chaque cellule par écoulement

naturel sous l'effet de la gravité. Préférentiellement, mais de manière nullement limitative, la batterie est maintenue à cette température pendant toute la phase d'extraction 306.

5 **[0107]** Avantageusement, l'étape de chauffage est réalisée dans une enceinte fermée remplie de gaz inerte.

[0108] La phase d'extraction 306 peut en outre comprendre une étape optionnelle 312 de compression de la batterie afin de chasser le lithium fondu hors de chaque cellule de la batterie. La compression peut être réalisée de manière continue pendant toute, ou partie, de la phase d'extraction 306.
10 Alternativement, l'étape de compression 312 peut être réitérée de manière discrète à plusieurs reprises lors de la phase d'extraction 306. Préférentiellement, l'étape de compression 312 réalise une application de la compression de manière progressive, ou par balayage, sur la surface de la batterie, en commençant par la deuxième bordure d'où dépassent les
15 électrodes positives et en allant vers la première bordure d'où dépassent les électrodes négatives.

[0109] Surtout le procédé 300 comprend une étape 314 de coupure de la liaison électrique entre les électrodes positives/collecteurs de courants d'au
20 moins deux, et en particulier de toutes les, cellules de la batterie. Une telle étape de coupure 314 permet de couper le lien électrique entre les électrodes positives des cellules de la batterie, ce qui permet de diminuer la réactivité de la batterie. Ainsi, les risques d'incendie de la batterie lors de la phase d'extraction sont diminués, de sorte que la récupération du lithium métallique
25 solide peut être réalisée de manière plus sûre et moins risquée.

[0110] Dans l'exemple représenté, l'étape de coupure 314 des liaisons électriques est réalisée avant la phase d'extraction 306. De manière alternative, l'étape de coupure 314 peut être réalisée lors de la phase d'extraction 306, avant, pendant ou après l'étape de positionnement 308, ou
30 avant, pendant ou après l'étape de chauffage 310.

[0111] Des exemples de réalisation non limitatifs d'une étape de coupure des liaisons électriques entre les électrodes positives de cellules, pouvant être mis en œuvre dans la présente invention, sont donnés plus en référence aux FIGURES 8a et 8b.

[0112] La FIGURE 4 est une représentation schématique d'un autre exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention.

5 **[0113]** Le procédé 400, représenté sur la FIGURE 4, comprend, comme le procédé 300 de la FIGURE 3, les étapes optionnelles 302 d'enlèvement des connecteurs électriques de la batterie et 304 d'enlèvement des débordements de lithium métallique solide sur chaque bordure de la batterie.

10 **[0114]** Le procédé 400 comprend ensuite l'étape 314 de coupure des liaisons électriques entre les électrodes positives des cellules de la batterie.

[0115] Ensuite, le procédé 400 comprend une phase 406 d'extraction du lithium métallique des cellules.

15 **[0116]** La phase d'extraction 406 comprend une étape 408 de positionnement de la batterie dans une orientation dans laquelle la première bordure 110 d'où dépassent les électrodes négatives 102 se trouve à un niveau plus haut, selon une direction verticale, que la deuxième bordure 112 d'où dépassent les électrodes positives 104 et les collecteurs. En particulier, l'étape 408 positionne la batterie dans une orientation verticale, c'est-à-dire parallèle au vecteur de gravité, avec la première bordure 110 d'où dépassent
20 les électrodes négatives vers le haut. Préférentiellement, mais de manière nullement limitative, la batterie est maintenue dans cette orientation pendant toute la phase d'extraction 406.

[0117] La phase d'extraction 406 comprend une étape 410 d'immersion de la batterie dans un liquide de traitement, neutre, et plus dense que le lithium
25 liquide. Par exemple, le liquide de traitement peut être une huile naturelle ou de synthèse, par exemple une huile de paraffine, comportant les propriétés physico-chimiques suivantes :

- hydrophobe et non réactif vis-à-vis du lithium,
- isolant électrique,
- 30 - une densité supérieure à celle du lithium,
- thermiquement stable au-delà de la température de fusion du lithium, c'est-à-dire 180,5 °C, et

- un point éclair, ainsi qu'un point d'auto-inflammation, aussi élevés que possible, par exemple une température supérieure à 600°C, et au minimum supérieur à la température de traitement de la cellule.

5 **[0118]** L'étape 410 d'immersion est réalisée en immergeant la batterie dans le liquide de traitement de sorte que ledit liquide de traitement recouvre complètement la batterie.

10 **[0119]** Cette étape 410 d'immersion est particulièrement avantageuse en favorisant l'échange thermique important entre la batterie et le liquide de traitement, ce qui limite les risques de surchauffe de la batterie et l'évacuation des calories générées lors d'un court-circuit et améliore la cinétique de chauffage.

[0120] La phase d'extraction 406 comprend en outre l'étape de chauffage 310 décrite plus haut, et peut comprendre de manière optionnelle l'étape de compression 312 décrite plus haut.

15 **[0121]** Lors de l'étape de chauffage, la température de traitement ne doit pas excéder une température de dégradation du liquide de traitement, au-delà de laquelle le liquide de traitement se dégrade. En d'autres termes, le liquide de traitement, en dépassant une température seuil, changerait de propriété de sorte que les propriétés énoncées ci-dessus ne soient plus satisfaites. Idéalement la température de dégradation du liquide de traitement doit être supérieure de +40°C, et par exemple entre +20°C et +60°C, par rapport à la température de fusion du lithium.

20

25

[0122] La FIGURE 5 est une représentation schématique d'un autre exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention.

30 **[0123]** Le procédé 500, représenté sur la FIGURE 5, comprend toutes les étapes du procédé 300 de la FIGURE 3, respectivement du procédé 400 de la FIGURE 4.

[0124] Le procédé 500 comprend en outre, préalablement aux étapes du procédé 300, respectivement du procédé 400, une étape 502 réalisant un rechargement électrique d'au moins une cellule de la batterie.

[0125] Ladite au moins une cellule peut être rechargée partiellement ou totalement.

[0126] Le fait de charger électriquement une cellule permet d'augmenter la quantité de lithium disponible en vue de son extraction car le rechargement électrique provoque une migration des ions de lithium vers l'électrode négative de ladite cellule.

[0127] La FIGURE 6 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention.

[0128] L'installation 600, représentée sur la FIGURE 6, peut être utilisée pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention, et en particulier les procédés 300 et 500 des FIGURES 3 et 5.

[0129] L'installation 600 permet d'extraire et de récupérer une partie ou la totalité du lithium des cellules d'une batterie comprenant du lithium métallique solide, telle que par exemple la batterie 200 de la FIGURE 2.

[0130] L'installation 600 comprend une étuve 602, remplie d'un gaz inerte ou mise sous vide, configurée pour chauffer la batterie à une température de traitement, supérieure ou égale à la température de fusion du lithium métallique solide présent dans les cellules, par exemple 180,5°C ou 181°C.

[0131] L'installation 600 comprend une paire de pinces 604 pour maintenir la batterie 200 dans une position verticale, ou au moins inclinée, dans laquelle la première bordure 110 est positionnée en dessous du niveau de la deuxième bordure 112. Chaque pince 604 est montée mobile sur un rail vertical 606 de sorte à déplacer la batterie 200 verticalement.

[0132] L'installation 600 comprend en outre une paire de rouleaux 608, présentant entre eux un écartement correspondant à l'épaisseur de la batterie 200 moins l'épaisseur des couches solides de lithium métallique. La paire de rouleaux 608 est positionnée de sorte que, lorsque les pinces 604 sont déplacées vers le haut, la batterie 200 passe entre les rouleaux 608 en commençant par la deuxième bordure 112. Ainsi, les rouleaux appliquent une compression sur la batterie 200, progressivement en commençant par la deuxième bordure 112 et en allant vers la première bordure 110.

[0133] L'installation comprend en outre un réceptacle 610 pour récupérer le lithium métallique fondu qui s'écoule hors de chaque cellule sous l'effet de la gravité. Le réceptacle 610 doit être inerte vis-à-vis du lithium.

5 **[0134]** Avantageusement, l'installation 600 comprend en outre un moyen 612 de découpe des liaisons électriques entre les électrodes positives de la batterie.

[0135] Dans l'exemple représenté, le moyen de découpe 612 est disposé dans l'étuve 602. Alternativement, le moyen de découpe 612 peut être
10 disposé hors de l'étuve 602. Par exemple, le moyen de découpe 612 peut être disposé au-dessus de l'étuve 602 ou sur le côté de l'étuve ou encore à distance de l'étuve 602.

[0136] Dans l'exemple représenté, le moyen de découpe 612 est un massicot prévu pour couper les liaisons électriques. La batterie 200 est
15 disposées entre les mâchoires du massicot du côté de sa deuxième bordure, par exemple grâce aux pinces 604. Le massicot 612 est alors actionné pour couper les liaisons électriques entre les électrodes positives des cellules de la batterie.

[0137] Alternativement, le moyen de découpe 612 peut être des cisailles,
20 une disqueuse, un moyen de découpe laser, et plus généralement tout moyen de découpe adapté.

[0138] La FIGURE 7 est une représentation schématique d'un autre exemple
25 de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention.

[0139] L'installation 700, représentée sur la FIGURE 7, peut être utilisée pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention, et en particulier les procédés 400 et 500 des FIGURES 4 et 5.

[0140] L'installation 700 comprend tous les éléments de l'installation 600 de
30 la FIGURE 6, sauf en ce qui concerne les différences indiquées ci-dessous.

[0141] Dans l'installation 700, les pinces 604 sont configurées pour orienter la batterie 200, de manière inclinée et préférentiellement verticalement, avec la première bordure 110 de la batterie 200 au-dessus de la deuxième bordure 112.

[0142] De plus, l'étuve 602 ne comprend pas de réceptacle de récupération 610.

[0143] En outre, la paire de rouleaux 608 est positionnée en dessus de la batterie 200 pour appliquer une compression allant de la deuxième bordure 112 de la batterie 200 vers la première bordure 110 de la batterie 200

[0144] Par ailleurs, l'étuve 602 est remplie d'un liquide de traitement 702 recouvrant entièrement la batterie 200. Le liquide de traitement 702 est électriquement isolant et inerte vis-à-vis du lithium, et surtout plus dense que le lithium fondu. Ce liquide de traitement 702, plus dense que lithium, permet de guider le lithium fondu vers la première bordure 110 de sorte que le lithium fondu sort de la batterie et se retrouve au niveau de la surface du liquide de traitement 702, et y est récupéré.

[0145] Dans la présente invention, la découpe des liaisons électriques entre les électrodes positives des cellules de la batterie peut être réalisée de différentes manières.

[0146] La FIGURE 8a donne un premier exemple de réalisation d'une découpe des liaisons électriques entre les électrodes positives de la batterie pouvant être mis en œuvre dans la présente invention.

[0147] Dans l'exemple représenté, la découpe est réalisée suivant une ligne de découpe 802 se trouvant au niveau, et en particulier à la limite, de la deuxième bordure 112, du côté des cellules 100_1 - 100_n de la batterie 200. Autrement dit, dans cet exemple, les cellules formant la batterie sont découpées au niveau de la deuxième bordure de la batterie.

[0148] Afin de diminuer la quantité de lithium perdue, la découpe peut être réalisée à proximité immédiate de la deuxième bordure 112. Par exemple, la découpe peut être réalisée à une distance de la deuxième bordure 112 inférieure ou égale à 2mm, ou inférieure ou égale à 1% de la dimension des cellules entre la première bordure 110 et la deuxième bordure 112 de la batterie 200.

[0149] La FIGURE 8b donne un autre exemple de réalisation d'une découpe des liaisons électriques entre les électrodes positives de la batterie pouvant être mis en œuvre dans la présente invention.

5 **[0150]** Dans l'exemple représenté, la découpe est réalisée suivant une ligne de découpe 804 se trouvant au niveau, et en particulier à la limite, de la deuxième bordure 112, du côté des fils de connexion électriques 202. Autrement dit, dans cet exemple, les cellules formant la batterie ne sont pas découpées.

10 **[0151]** Cet exemple de réalisation permet de conserver, ou de ne pas ôter, de lithium métallique solide de la batterie lors de la coupure des liaisons électriques entre les électrodes positives des cellules, ce qui permet d'améliorer le rendement de récupération du lithium.

15 **[0152]** Dans cet exemple de réalisation, la découpe des fils de connexion 202 doit être suffisamment proche de la deuxième bordure 112 de sorte qu'après la découpe, il n'y a plus de contact entre les électrodes positives.

[0153] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples détaillés ci-dessus.

20 **[0154]** Par exemple, la composition de chaque cellule peut être différente de celle indiquée en FIGURE 1.

[0155] De plus, l'installation selon l'invention peut comprendre d'autres dispositifs que ceux représentés sur les FIGURES 6 ou 7, tels que par exemple des moyens pour découper les connecteurs électriques de la batterie, des
25 moyens de découpe des débordements sur l'une, ou sur chacune, des bordures.

[0156] Alternativement à ce qui est décrit, les pinces 604 peuvent être fixes, et ce sont les rouleaux 608, respectivement le massicot 612, qui peuvent être mobiles.

30 **[0157]** De plus, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus, mais peut s'appliquer aux batteries à électrolyte solide ou quasi solide ne comportant pas de polymère à la cathode. L'invention peut s'appliquer à toute batterie ayant un électrolyte solide ou quasi solide et une

- 23 -

cathode stable jusqu'à la température du point de fusion du composant de l'électrolyte solide ou quasi solide.

REVENDEICATIONS

1. Procédé (300;400;500) d'extraction de lithium d'une batterie (200), à électrolyte au lithium solide ou quasi solide comprenant au moins deux cellules (100) de stockage d'énergie électrique ;
- 5 chaque cellule comprenant une électrode négative (102), une électrode positive (104;108) et du lithium métallique solide (106) ou quasi solide ; ladite batterie comportant une première bordure (110) d'où dépassent les électrodes négatives (102) desdites cellules et une deuxième bordure (112), opposée (112) à ladite première bordure (110), et d'où dépassent les
- 10 électrodes positives (104) ; ledit procédé (300;400;500) comprenant une phase (306;406) d'extraction comprenant les étapes suivantes :
- positionnement (308;408) de ladite batterie (200) dans une orientation dans laquelle l'une (110;112) desdites première et deuxième bordures
 - 15 se trouve en dessous de l'autre (112;110) desdites première et deuxième bordures, et
 - chauffage (310) de ladite batterie (200) à une température, dite de traitement, supérieure ou égale à la température de fusion dudit lithium métallique solide ;
- 20 caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape (314) de coupure de la liaison électrique entre les électrodes positives d'au moins deux, et en particulier de toutes les, cellules (100) de ladite batterie (200).
2. Procédé (300;400;500) selon la revendication précédente, caractérisé en
- 25 ce que l'étape de coupure (314) réalise une découpe de fils de connexion entre les électrodes positives suivant une ligne de découpe (802) se trouvant au niveau, et en particulier à la limite, de la deuxième bordure (112), du côté desdits fils de connexion électriques.
- 30 3. Procédé (300;400;500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de coupure réalise une découpe des cellules suivant une ligne de découpe (804) se trouvant au niveau, et en particulier à la limite de la deuxième bordure (112), du côté desdites cellules.

- 25 -

4. Procédé (300;400;500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de coupure (314) est réalisée par massicotage.
- 5 5. Procédé (500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, avant la phase d'extraction (306;406), une étape (502) de chargement électrique de la batterie (200), ladite phase d'extraction (306;406) étant appliquée à ladite batterie (200) chargée.
- 10 6. Procédé (300;400;500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la phase d'extraction (306;406) comprend en outre une étape (312) de compression de la batterie (200).
- 15 7. Procédé (300;400;500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend, avant la phase d'extraction (306;406), une étape (302) d'enlèvement d'au moins un connecteur électrique de la batterie (100).
- 20 8. Procédé (300;500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de positionnement (308) réalise un positionnement de la batterie (200) dans une orientation dans laquelle la première bordure (110) de ladite batterie se trouve en dessous de la deuxième bordure (112) de ladite batterie (200).
- 25 9. Procédé (300;500) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape de positionnement (308) réalise une mise en position verticale de la batterie (200), dans laquelle la première bordure (110) se trouve vers le bas.
- 30 10. Procédé (300;500) selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que l'étape de chauffage (310) de la batterie (200) est réalisée sous gaz inerte ou sous vide.

- 26 -

11. Procédé (400;500) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'étape de positionnement (408) réalise un positionnement de la batterie (200) dans une orientation dans laquelle la première bordure (110) de ladite batterie se trouve au-dessus de la deuxième bordure (112) de ladite batterie, et en ce que la phase d'extraction (406) comprend en outre, avant l'étape de chauffage (310), une étape (410) d'immersion de la batterie (200) dans un liquide (702), dit de traitement, plus dense que le lithium liquide et électriquement isolant.
12. Installation (600;700) d'extraction de lithium d'une batterie (200), à électrolyte au lithium solide ou quasi solide, comprenant au moins deux cellules (100) de stockage d'énergie électrique ;
chaque cellule comprenant une électrode négative (102), une électrode positive (104;108) et du lithium métallique solide (106) ou quasi solide ;
ladite batterie comportant une première bordure (110) d'où dépassent les électrodes négatives (102) desdites cellules et une deuxième bordure (112), opposée (112) à ladite première bordure (110), et d'où dépassent les électrodes positives (104) ;
ladite installation (600;700) comprenant :
- un moyen (604) de positionnement de ladite batterie (200) dans une orientation dans laquelle l'une (110;112) desdites première et deuxième bordures se trouve en dessous de l'autre (112;110) desdites première et deuxième bordures ; et
- un moyen de chauffage (602) configuré pour chauffer ladite batterie (200) à une température, dite de traitement, supérieure ou égale à la température de fusion dudit lithium métallique solide ;
caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un moyen (612) de coupure de la liaison électrique entre les électrodes positives d'au moins deux, et en particulier de toutes les, cellules (100) de ladite batterie (200).
13. Installation (600;700) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le moyen de coupure (612) comprend un massicot.

- 27 -

14. Installation (600;700) selon l'une quelconque des revendications 12 ou 13, caractérisée en ce que le moyen de chauffage comprend une étuve (502).
15. Installation (500) selon l'une quelconque des revendications 12 à 14,
5 caractérisée en ce qu'elle comprend un moyen de compression (508) de la batterie (200).