

DESCRIPTION

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

La présente invention concerne un procédé d'extraction de lithium d'une batterie comprenant du lithium métallique solide.

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

État de la technique

15 On connaît des batteries à base de lithium métallique 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 LMP® augmente sans cesse depuis plusieurs années.

20 La durée de vie des batteries LMP® n'est pas infinie et il paraît nécessaire de recycler ces batteries. Or, même en fin de vie, une batterie LMP® 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.

25 Cependant, il n'existe actuellement aucune technique permettant de récupérer de manière satisfaisante le lithium métallique solide dans une batterie.

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

30 Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de récupération du lithium métallique solide dans un ensemble d'au moins une cellule de stockage d'énergie électrique.

- 2 -

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de récupération du lithium métallique solide dans un ensemble d'au moins une cellule de stockage d'énergie électrique, de manière simple.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de récupération
5 du lithium métallique solide dans un ensemble d'au moins une cellule de stockage d'énergie électrique, de manière efficace en limitant et en maîtrisant l'effet de potentiels courts-circuits lors du recyclage.

10 **Exposé de l'invention**

Première solution proposée par l'invention

Suivant une première solution, l'invention permet d'atteindre au moins l'un de ces buts par un procédé d'extraction de lithium d'un ensemble d'au moins une cellule de batterie électrique comprenant du lithium métallique
15 solide, telle qu'une batterie Lithium-Métal-Polymère, ledit procédé comprenant une phase d'extraction comprenant les étapes suivantes :

- positionnement dudit ensemble dans une orientation dans laquelle une première bordure dudit ensemble d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) négative(s) se trouve en dessous d'une deuxième
20 bordure dudit ensemble, opposée à ladite première bordure, et d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) positive(s) ; et
- chauffage dudit ensemble à une température, dite de traitement, supérieure ou égale à la température de fusion dudit lithium métallique solide.

25 Le procédé selon l'invention propose de récupérer le lithium d'une batterie comprenant du lithium solide, en traitant les cellules composant ladite batterie individuellement ou ensemble.

De plus, le procédé selon l'invention propose de récupérer le lithium métallique, de préférence solide, d'un ensemble d'au moins une cellule dont
30 le lithium est à l'état liquide, en chauffant ledit ensemble de cellule(s) à une température de traitement supérieure à la température de fusion du lithium métallique solide. Le lithium métallique, une fois fondu, s'évacue, tout ou en partie, naturellement de chaque cellule, sous l'effet de la force de gravité.

- 3 -

Ainsi, le procédé selon l'invention permet une récupération simple et peu complexe du lithium métallique solide.

En outre, le procédé selon l'invention propose une orientation spécifique de chaque cellule, cette dernière étant au minimum inclinée, de sorte que la première bordure d'où dépasse l'électrode négative se trouve en dessous du niveau de la deuxième bordure, opposée à la première bordure, d'où dépasse l'électrode positive. Une telle orientation de chaque cellule 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 l'électrode positive 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.

Dans la présente demande, par « cellule de stockage d'énergie électrique » 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, disposée entre l'électrode positive et l'électrode négative, et
- un collecteur de courant du côté de l'électrode positive.

Dans la présente demande, le « lithium métallique solide » peut comprendre :

- 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.

Lorsque le « lithium métallique 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 l'ensemble de cellule(s) une température de traitement supérieure ou égale à :

- la plus basse desdites différentes températures de fusion ; et

- 4 -

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

Suivant un exemple de réalisation non limitatif, la température de
5 traitement est supérieure ou égale à 180.5°C.

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

10 L'ensemble peut comprendre une seule ou unique cellule.

L'ensemble 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.

En particulier, l'ensemble peut correspondre à une batterie dans
15 laquelle les cellules sont reliées en série.

Suivant un mode de réalisation préféré, l'étape de positionnement peut réaliser une mise en position verticale de l'ensemble de cellule(s), dans laquelle la première bordure se trouve vers le bas.

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

De plus, le risque de contact entre le lithium fondu et la (ou les) électrode(s) positive(s) est diminué, voire nul.

25 Préférentiellement, l'étape de chauffage de l'ensemble de cellule(s) peut être réalisée sous gaz inerte.

Ainsi, le procédé selon l'invention diminue des risques d'accidents, en particulier les risques d'incendie.

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

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).

Suivant un autre mode de réalisation, l'étape de chauffage de l'ensemble de cellule(s) peut être réalisée sous vide.

- 5 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 l'ensemble de cellule(s), ladite phase d'extraction étant appliquée audit ensemble chargé.

10 Le fait de charger électriquement la ou les cellules, 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.

15 Chaque cellule peut être chargée de manière individuelle, ou par chargement électrique de l'ensemble de cellule(s).

Suivant un mode de réalisation particulièrement avantageux, la phase d'extraction peut en outre comprendre une étape de compression de l'ensemble de cellule(s).

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

25 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 une compression, en partie ou en totalité, pendant toute la durée de la phase d'extraction.

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 l'ensemble de cellule(s) n'est pas soumis à une compression.

- 30 Avantageusement, l'étape de compression peut appliquer une compression sur la surface de l'ensemble de cellule(s) en balayant la surface dudit ensemble depuis la deuxième bordure vers la première bordure. Ainsi, le lithium fondu est amené/guidé progressivement vers la première bordure d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) négative(s), ce qui augmente la

- 6 -

quantité de lithium récupérée et diminue le risque de contact entre le lithium et la (ou les) électrode(s) positive(s).

Par exemple, l'étape de compression peut être réalisée par passage de
5 l'ensemble de cellule(s) entre deux rouleaux.

Suivant un autre exemple, l'étape de compression peut être réalisée par un rouleau de compression venant comprimer l'ensemble de cellule(s) contre une surface d'appui.

La compression peut être appliquée par passages successives, chaque
10 passage balayant la surface de l'ensemble de cellule(s) en commençant par la deuxième bordure vers la première bordure.

L'espace entre les rouleaux de compression, respectivement entre le rouleau de compression et la surface d'appui, peut correspondre à l'épaisseur de l'ensemble de cellule(s) moins l'épaisseur de la, ou des, couche(s) de
15 lithium métallique solide(s). Cela permet d'appliquer une compression, tant qu'il reste du lithium solide dans l'ensemble de cellule(s).

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
20 compression sur l'ensemble de cellule(s).

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.
25

En outre, le procédé selon l'invention peut comprendre, avant la phase d'extraction, une étape d'enlèvement d'au moins un connecteur électrique d'au moins une cellule, également appelée « crimp » en anglais.

Cela permet de faciliter le traitement de l'ensemble de cellule(s).
30

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 l'ensemble de cellule(s).

Suivant un autre aspect de la même invention, il est proposé une installation d'extraction de lithium d'un ensemble d'au moins une cellule de batterie électrique comprenant du lithium métallique solide, telle qu'une
5 batterie Lithium-Métal-Polymère, ladite installation comprenant :

- un moyen de positionnement dudit ensemble dans une orientation dans laquelle une première bordure dudit ensemble d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) négative(s) se trouve en dessous d'une
10 deuxième bordure dudit ensemble, opposée à ladite première bordure, et d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) positive(s) ;
et
- un moyen de chauffage configuré pour chauffer ledit ensemble à une température de traitement supérieure ou égale à la température de
15 fusion dudit lithium métallique solide..

De manière générale, l'installation comprend 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.

20

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

Avantageusement, l'étuve peut être remplie d'un gaz inerte, ou être mise sous vide.

25 L'installation selon l'invention peut comprendre en outre un moyen de compression de l'ensemble de cellule(s).

Le moyen de compression peut comprendre au moins un rouleau.

En particulier, le moyen de compression peut comprendre un unique rouleau venant comprimer l'ensemble de cellule(s) contre une surface d'appui.

30 La surface d'appui peut être chauffée pour accélérer la montée en température de l'ensemble de cellule(s).

Alternativement, le moyen de compression peut comprendre deux rouleaux entre lesquels est passé l'ensemble de cellule(s).

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

Alternativement, le moyen de compression peut être configuré pour
5 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 l'ensemble de cellule(s) n'est pas soumis à une compression.

Avantageusement, le moyen de compression peut être configuré pour
10 appliquer une compression, de valeur constante ou variable, de manière progressive ou par balayage sur la surface de l'ensemble de cellule(s), 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 qui augmente la quantité de lithium récupérée et diminue
15 le risque de contact entre le lithium et la ou les électrode(s) positive(s).

Dans le cas de l'utilisation d'un ou de deux rouleaux de compression, alors la compression peut être appliquée sur l'ensemble de cellules par passages successifs. Chaque passage applique une compression par balayage sur la surface de l'ensemble de cellule(s), depuis la deuxième bordure vers la
20 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.

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

Le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre pour traiter plusieurs ensembles de cellule(s), en particulier plusieurs ensembles de
30 cellules formant un pack batterie et connectés entre eux en parallèle au sein dudit pack batterie.

Au moins deux ensembles de cellule(s) peuvent être alignées côte à côte, sans se recouvrir, par exemple dans une direction parallèle à la première bordure.

Dans ce cas, la compression peut être appliquée à au moins deux ensembles de cellule(s) par un même moyen de compression, à savoir un ensemble de rouleaux, ou un rouleau coopérant avec une surface d'appui.

5

Deuxième solution proposée par l'invention

Suivant une deuxième solution, l'invention permet d'atteindre au moins l'un de ces buts par un procédé d'extraction de lithium d'un ensemble d'au moins une cellule de batterie électrique comprenant du lithium métallique
10 solide, telle qu'une batterie Lithium-Métal-Polymère, ledit procédé comprenant une phase d'extraction comprenant les étapes suivantes :

- positionnement dudit ensemble dans une orientation dans laquelle une première bordure dudit ensemble, d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) négative(s), se trouve au-dessus d'une deuxième
15 bordure dudit ensemble, opposée à ladite première bordure, et d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) positive(s) ;
- une étape d'immersion de l'ensemble de cellule(s) dans un liquide plus dense que le lithium liquide et électriquement isolant ; et
- chauffage dudit ensemble à une température, dite de traitement,
20 supérieure ou égale à la température de fusion dudit lithium métallique solide.

Le procédé selon l'invention propose de récupérer le lithium d'une batterie comprenant du lithium, en traitant les cellules composant ladite batterie individuellement ou ensemble.

25 De plus, le procédé selon l'invention propose de récupérer le lithium métallique d'un ensemble d'au moins une cellule dont le lithium est amené à l'état liquide, en chauffant ledit ensemble de cellule(s) à une température de traitement supérieure à la température de fusion du lithium métallique solide. Le lithium métallique, une fois fondu, s'évacue en partie naturellement de
30 chaque cellule, sous l'effet de la différence de densité. Ainsi, le procédé selon l'invention permet une récupération simple et peu complexe du lithium métallique solide.

En outre, le procédé selon l'invention propose une orientation spécifique de chaque cellule, cette dernière étant au minimum inclinée, de sorte que la

première bordure d'où dépasse l'électrode négative se trouve au-dessus du niveau de la deuxième bordure, opposée à la première bordure, d'où dépasse l'électrode positive. 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 l'électrode positive ou le collecteur de courant de l'électrode positive, un tel contact pouvant provoquer un court-circuit électrique, un tel 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.

Dans la présente demande, par « cellule de stockage d'énergie électrique » 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, disposée entre l'électrode positive et l'électrode négative, et
- un collecteur de courant du côté de l'électrode positive.

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

Dans la présente demande, le « lithium métallique solide » peut comprendre :

- 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.

Lorsque le « lithium métallique 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 l'ensemble de cellule(s) une température de traitement supérieure ou égale à :

- 11 -

- la plus basse desdites différentes températures de fusion ; ou préférentiellement, la plus haute desdites différentes températures de fusion, ou
 - une combinaison des différentes températures, par exemple ou
- 5 travers d'un gradient de température qui s'étend de la première bordure vers la deuxième bordure

 Suivant un exemple de réalisation non limitatif, la température de traitement est, dans le cas d'une utilisation de lithium métallique pur,

10 supérieure ou égale à 180,5°C.

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

15 L'ensemble peut comprendre une seule ou unique cellule.

 L'ensemble 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.

 En particulier, l'ensemble peut correspondre à une batterie dans

20 laquelle les cellules sont reliées en série.

 Suivant un mode de réalisation préféré, l'étape de positionnement peut réaliser une mise en position verticale de l'ensemble de cellule(s), dans laquelle la première bordure se trouve vers le haut.

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

 De plus, le risque de contact entre le lithium fondu et la (ou les) électrode(s) positive(s) est diminué, voire nul.

30 Préférentiellement, l'étape d'immersion est réalisée en immergeant l'ensemble de cellule(s) complètement dans le liquide.

 Ainsi, le procédé selon l'invention diminue les risques d'accidents, en particulier les risques d'incendie.

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, notamment en contrôlant la température de traitement et la densité du liquide
5 de sorte que seul le lithium ou l'alliage de lithium puisse être extrait.

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 l'ensemble de cellule(s), ladite phase
10 d'extraction étant appliquée audit ensemble chargé.

Le fait de charger électriquement la ou les cellules, 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
15 négative, ce qui permet d'augmenter la quantité de lithium récupérable.

Chaque cellule peut être chargée de manière individuelle, ou par chargement électrique de l'ensemble de cellule(s).

Suivant un mode de réalisation particulièrement avantageux, la phase
20 d'extraction peut en outre comprendre une étape de compression de l'ensemble de cellule(s).

Ainsi, le lithium fondu est forcé à s'évacuer hors de chaque cellule, ce qui augmente la quantité de lithium récupérée et la cinétique du procédé.

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

Alternativement, l'étape de compression peut être réalisée de manière discrète, une ou plusieurs fois, pendant la phase d'extraction. Dans ce cas, la
30 phase d'extraction comporte des moments où l'ensemble de cellule(s) n'est pas soumis à une compression.

Avantageusement, l'étape de compression peut appliquer une compression sur la surface de l'ensemble de cellule(s) en balayant la surface dudit ensemble depuis la deuxième bordure vers la première bordure. Ainsi,

le lithium fondu est amené/guidé progressivement vers la première bordure d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) négative(s), ce qui augmente la quantité de lithium récupérée et diminue le risque de contact entre le lithium ou alliage de lithium et la (ou les) électrode(s) positive(s).

5

Par exemple, l'étape de compression peut être réalisée par passage de l'ensemble de cellule(s) entre deux rouleaux.

Suivant un autre exemple, l'étape de compression peut être réalisée par un rouleau de compression venant comprimer l'ensemble de cellule(s) contre une surface d'appui.

La compression peut être appliquée par passages successifs, chaque passage balayant la surface de l'ensemble de cellule(s) en commençant par la deuxième bordure vers la première bordure.

L'espace entre les rouleaux de compression, respectivement entre le rouleau de compression et la surface d'appui, peut correspondre à l'épaisseur de l'ensemble de cellule(s) moins l'épaisseur de la, ou des, couche(s) de lithium métallique solide(s). Cela permet d'appliquer une compression, tant qu'il reste du lithium solide dans l'ensemble de cellule(s).

L'espace entre les deux rouleaux de compression, ou respectivement entre le rouleau de compression et la surface d'appui, également appelé table d'appui, peut être diminué au fur et à mesure des passages successifs, de sorte à toujours appliquer une compression sur l'ensemble de cellule(s).

La vitesse de passage entre les rouleaux de compression, ou respectivement du rouleau de compression coopérant avec une table d'appui, et plus généralement la vitesse de balayage, peut être comprise entre quelques mm et quelques dizaines de mm, par seconde.

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 cellule, également appelée « crimp » en anglais.

Cela permet de faciliter le traitement de l'ensemble de cellule(s).

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 l'ensemble de cellule(s).

- 5 Suivant un autre aspect de la même invention, il est proposé une installation d'extraction de lithium d'un ensemble d'au moins une cellule de batterie électrique comprenant du lithium métallique solide, telle qu'une batterie Lithium-Métal-Polymère, ladite installation comprenant :
- 10 - un moyen de positionnement dudit ensemble dans une orientation dans laquelle une première bordure dudit ensemble, d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) négative(s), se trouve au-dessus d'une deuxième bordure dudit ensemble, opposée à ladite première bordure, et d'où dépasse(nt) une (ou des) électrode(s) positive(s) ;
- 15 - une étuve remplie d'un liquide plus dense que le lithium liquide et électriquement isolant ; et
- un moyen de chauffage configuré pour chauffer ledit ensemble à une température de traitement supérieure ou égale à la température de fusion dudit lithium métallique solide.
- 20 De manière générale, l'installation comprend 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.
- 25 Le liquide peut être une huile naturelle ou de synthèse, comportant les propriétés physico-chimiques suivantes :
- 30 • 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.

L'installation selon l'invention peut comprendre en outre un moyen de compression de l'ensemble de cellule(s).

Le moyen de compression peut comprendre au moins un rouleau.

5 En particulier, le moyen de compression peut comprendre un unique rouleau venant comprimer l'ensemble de cellule(s) contre une surface d'appui. La surface d'appui peut être chauffée pour accélérer la montée en température de l'ensemble de cellule(s).

10 Alternativement, le moyen de compression peut comprendre deux rouleaux entre lesquels est passé l'ensemble de cellule(s).

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

15 Alternativement, le moyen de compression peut être configuré pour appliquer une compression de manière discrète dans le temps, en une ou plusieurs fois, pendant la phase d'extraction. Dans ce cas, la phase d'extraction comporte des moments où l'ensemble de cellule(s) n'est pas soumis à une compression.

20 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 l'ensemble de cellule(s), depuis la deuxième bordure vers la première bordure. Ainsi, le lithium fondu est amené/guidé progressivement vers la première bordure se trouvant en
25 position basse, ce qui augmente la quantité de lithium récupérée et diminue le risque de contact entre le lithium et la ou les électrode(s) positive(s).

 Dans le cas de l'utilisation d'un ou de deux rouleaux de compression, alors la compression peut être appliquée sur l'ensemble de cellules par passages successifs. Chaque passage applique une compression par balayage
30 sur la surface de l'ensemble de cellule(s), 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.

- 16 -

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.

5 Le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre pour traiter plusieurs ensembles de cellule(s), en particulier plusieurs ensembles de cellules formant un pack batterie et connectés entre eux en parallèle au sein dudit pack batterie.

10 Au moins deux ensembles de cellule(s) peuvent être alignés côte à côte, sans se recouvrir, par exemple dans une direction parallèle à la première bordure.

Dans ce cas, la compression peut être appliquée à au moins deux ensembles de cellule(s) par un même moyen de compression, à savoir un ensemble de rouleaux, ou un rouleau coopérant avec une surface d'appui.

15

Description des figures et modes de réalisation

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

- 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
25 réalisation non limitatif d'un ensemble de cellules au sens de la présente invention ;
- la FIGURE 3 est une représentation schématique d'un premier exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la première solution proposée ;
- 30 - la FIGURE 4 est une représentation schématique d'un deuxième exemple de réalisation d'un procédé selon l'invention, conformément à la première solution proposée ; et

- 17 -

- la FIGURE 5 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention, conformément à la première solution proposée ;
- 5 - la FIGURE 6 est une représentation schématique d'un premier exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la deuxième solution proposée ;
- la FIGURE 7 est une représentation schématique d'un deuxième exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la deuxième solution proposée ;
- 10 - la FIGURE 8 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention, conformément à la deuxième solution proposée.

Il est bien entendu que les modes de réalisation qui seront décrits dans
15 la suite ne sont nullement limitatifs. On pourra notamment imaginer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques 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
20 antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détail structurel, ou avec seulement une partie 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.

25 Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures conservent la même référence.

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

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

- hydrophobe et non réactif vis-à-vis du lithium,
- isolant électrique,
- ayant une densité supérieure à celle du lithium,

- 18 -

- 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.

5

La FIGURE 1 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une cellule au sens de la présente invention, quelle que soit la solution mise œuvre parmi les deux solutions proposées.

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

La cellule 100 comprend en outre une électrode positive 104. L'électrode positive 104 est généralement formée par une couche de composite à base de polymère et de matière active.

15 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.

La cellule 100 comprend en outre un collecteur de courant 108 du côté de l'électrode positive 104. Le collecteur de courant 108 est généralement
20 réalisé en aluminium.

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 ; et l'électrode positive 104 et/ou le collecteur 108 de la cellule 100 (lequel collecteur 108 est connecté à
25 l'électrode positive 104) dépasse(nt) 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 de l'ensemble 100 sur sa deuxième bordure 112, ici vers la gauche de la figure. Dans d'autres exemples, le dépassement pourrait porter sur la seule électrode positive 104
30 ou aussi sur l'électrode positive 104 et le collecteur 108.

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.

5 La FIGURE 2 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'un ensemble de cellule(s) au sens de la présente invention, quelle que soit la solution mise œuvre parmi les deux solutions proposées.

10 L'ensemble de cellule 200, représenté sur la FIGURE 2, comprend une ou plusieurs cellules au sens de la présente invention.

En particulier, l'ensemble de cellule 200 comprend plusieurs cellules 100_i - 100_n , identiques, assemblées suivant une direction 202 perpendiculaire au plan des couches de chaque cellule 100_i .

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

15 De plus, entre deux cellules adjacentes 100_i - 100_{i+1} , avec $i < n$, sont disposés une électrode positive 204_i et un collecteur de courant 206_i qui lui est connecté.

Exemples de réalisation selon la première solution proposée

20 La FIGURE 3 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la première solution proposée.

25 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 l'ensemble de cellule(s), sont enlevés.

Lors d'une étape 304, optionnelle, des débordements de matière, et en particulier de lithium métallique solide, au niveau de chaque bordure latérale de l'ensemble de cellule(s) sont enlevés.

30 Ensuite, le procédé 300 comprend une phase 306 d'extraction du lithium métallique des cellules.

La phase d'extraction 306 comprend une étape 308 de positionnement de l'ensemble de cellule(s) dans une orientation dans laquelle la première bordure d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) négative(s) se trouve à un

- 20 -

niveau plus bas que la deuxième bordure d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) positive(s) et les collecteurs. En particulier, l'étape 308 positionne l'ensemble de cellule(s) dans une orientation verticale, c'est-à-dire parallèle au vecteur de gravité, avec la bordure d'où dépasse(nt) la (ou les) 5 électrode(s) négative(s) vers le bas. Préférentiellement, mais de manière nullement limitative, l'ensemble de cellule(s) est maintenu dans cette orientation pendant toute la phase d'extraction 306.

La phase d'extraction 306 comprend en outre une étape 310 de 10 chauffage de l'ensemble de cellule(s) à une température de traitement supérieure ou égale à la température de fusion du lithium métallique solide présent dans l'ensemble de cellule(s), par exemple une température de 180,5°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, l'ensemble 15 de cellule(s) est maintenu à cette température pendant toute la phase d'extraction 306.

Avantageusement, l'étape de chauffage est réalisée dans une enceinte fermée remplie de gaz inerte.

La phase d'extraction 306 peut en outre comprendre une étape 20 optionnelle 312 de compression de l'ensemble de cellule(s) afin de chasser le lithium fondu hors de chaque cellule. La compression peut être réalisée de manière continue sur toute, ou partie, de la phase d'extraction 306. Alternativement, l'étape de compression 312 peut être réitérée de manière discrète à plusieurs reprises lors de la phase d'extraction 306. 25 Préférentiellement, l'étape de compression 312 réalise une application de la compression de manière progressive, ou par balayage, sur la surface de l'ensemble de cellule(s), en commençant par la deuxième bordure d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) positive(s) et en allant vers la première bordure d'où dépasse(nt) la (ou les) électrodes négatives.

30

La FIGURE 4 est une représentation schématique d'un autre exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la première solution proposée.

- 21 -

Le procédé 400, représenté sur la FIGURE 4, comprend toutes les étapes du procédé 300 de la FIGURE 3.

Le procédé 400 comprend en outre, préalablement aux étapes du procédé 300, une étape 402 réalisant un rechargement électrique de la (ou des) cellule(s) traitée(s).

Chaque cellule peut être rechargée partiellement ou totalement.

Le fait de charger électriquement chaque 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 la cellule.

La FIGURE 5 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention, conformément à la première solution proposée.

L'installation 500, représentée sur la FIGURE 5, peut être utilisée pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention, et en particulier les procédés 300 et 400 des FIGURES 3 et 4.

L'installation 500 permet d'extraire et de récupérer une partie ou la totalité du lithium d'une cellule de batterie comprenant du lithium métallique solide, telle que par exemple la cellule 100 de la FIGURE 1, ou d'un ensemble de cellules tel que l'ensemble 200 de la FIGURE 2.

L'installation 500 comprend une étuve 502, remplie d'un gaz inerte ou mise sous vide, configurée pour chauffer la cellule 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.

L'installation 500 comprend une paire de pinces 504 pour maintenir la cellule 100, ou l'ensemble de cellule 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 504 est montée mobile sur un rail vertical 506 de sorte à déplacer la cellule, ou l'ensemble de cellules 200, verticalement.

L'installation 500 comprend en outre une paire de rouleaux 508, présentant entre eux un écartement correspondant à l'épaisseur de la cellule

- 22 -

100, ou de l'ensemble de cellules 200, moins l'épaisseur de la (ou des) couche(s) solide(s) de lithium métallique. La paire de rouleaux est positionnée de sorte que, lorsque les pinces 504 sont déplacées vers le haut, la cellule 100, respectivement l'ensemble de cellule(s) 200, passe entre les rouleaux 508 en commençant par la deuxième bordure 112. Ainsi, les rouleaux appliquent une compression sur la cellule 100, respectivement sur l'ensemble de cellule 200, progressivement en commençant par la deuxième bordure 112 et en allant vers la première bordure 110.

L'installation comprend en outre un réceptacle 510 pour récupérer le lithium métallique fondu qui s'écoule hors de chaque cellule sous l'effet de la gravité. Le réceptacle 510 doit être inerte vis-à-vis du lithium.

Exemples de réalisation selon la deuxième solution proposée

La FIGURE 6 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la deuxième solution proposée.

Le procédé 600, représenté sur la FIGURE 6, comprend une première étape 602, optionnelle, lors de laquelle les connecteurs électriques, également appelés « crimps » en anglais, de chaque cellule de batterie sont enlevés.

Lors d'une étape 604, optionnelle, des débordements de matière au niveau de chaque bordure latérale de l'ensemble de cellules sont enlevés.

Ensuite, le procédé 600 comprend une phase 606 d'extraction du lithium métallique des cellules.

La phase d'extraction 606 comprend une étape 608 de positionnement de l'ensemble de cellule(s) dans une orientation dans laquelle la première bordure 110 d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) négative(s) 102 se trouve à un niveau plus haut, selon une direction verticale, que la deuxième bordure 112 d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) positive(s) 104 et les collecteurs. En particulier, l'étape 608 positionne l'ensemble de cellule(s) dans une orientation verticale, c'est-à-dire parallèle au vecteur de gravité, avec la bordure d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) négative(s) 102 vers le haut. Préférentiellement, mais de manière nullement limitative, l'ensemble de

cellule(s) est maintenu dans cette orientation pendant toute la phase d'extraction 606.

La phase d'extraction 606 comprend une étape 609 d'immersion de l'ensemble de cellule(s) dans un liquide 850 (voir FIGURE 8). Par exemple dans le mode de réalisation représenté sur la FIGURE 8, le liquide 850 est 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,
- 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.

L'étape 609 d'immersion est réalisée en immergeant l'ensemble 200 de cellule(s) dans le liquide 850 de sorte que le liquide 850 recouvre complètement l'ensemble 200 de cellule(s).

Cette étape 609 d'immersion est particulièrement avantageuse en favorisant l'échange thermique important entre la cellule et le liquide 850, ce qui limite les risques de surchauffe de la cellule et l'évacuation des calories générées lors d'un court-circuit et améliore la cinétique de chauffage.

La phase d'extraction 606 comprend en outre une étape 610 de chauffage de l'ensemble de cellule(s) à une température de traitement supérieure ou égale à la température de fusion du lithium métallique solide présent dans l'ensemble de cellule(s), par exemple une température de 180,5°C. Dans le mode de réalisation présenté, le liquide 850 est chauffé par l'étuve, et transfère de la chaleur à l'ensemble de cellule(s). La température, une fois supérieure à la température de fusion du lithium, provoque 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, l'ensemble de cellule(s) est maintenu à cette

température pendant toute la phase d'extraction 606. La température de traitement ne doit pas excéder une température de dégradation du liquide 850, propre à chaque liquide 850, au-delà de laquelle le liquide 850 se dégrade. En d'autres termes le liquide 850, en dépassant une température
5 seuil, changerait de propriété de sorte que les propriétés énoncées ci-dessus ne soient plus satisfaites. Idéalement la température de dégradation du liquide doit être supérieure de +40°C (et par exemple entre +60°C et +60°C) par rapport à la température de fusion du lithium.

Ainsi le procédé d'extraction de lithium d'une batterie permet de limiter
10 les effets de potentiels courts-circuits en faisant écouler le lithium par la première bordure 110 d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) négative(s) 102, et de maîtriser les courts-circuits en immergeant l'ensemble de cellule(s) dans un liquide ne réagissant pas avec le lithium et améliorant la dissipation des calories de l'ensemble de cellule(s), notamment lors de court-circuit.

15 La phase d'extraction 606 peut en outre comprendre une étape optionnelle 612 de compression de l'ensemble de cellule(s) afin d'accélérer l'extraction du lithium fondu hors de chaque cellule. La compression peut être réalisée de manière continue sur toute, ou partie, de la phase d'extraction 606. Alternativement, l'étape de compression 612 peut être réitérée de
20 manière discrète à plusieurs reprises lors de la phase d'extraction 606. Préférentiellement, l'étape de compression 612 réalise une application de la compression de manière progressive, ou par balayage, sur la surface de l'ensemble de cellule(s), en commençant par la deuxième bordure 112 d'où dépasse(nt) la (ou les) électrode(s) positive(s) 104 et en allant vers la
25 première bordure 110 d'où dépasse(nt) la (ou les) électrodes négatives 102.

La FIGURE 7 est une représentation schématique d'un autre exemple de réalisation non limitatif d'un procédé selon l'invention, conformément à la
30 deuxième solution proposée.

Le procédé 700, représenté sur la FIGURE 7, comprend toutes les étapes du procédé 600 de la FIGURE 6.

Le procédé 700 comprend en outre, préalablement aux étapes du procédé 600, une étape 702 réalisant un rechargement électrique de la (ou des) cellule(s) traitée(s).

Chaque cellule peut être rechargée partiellement ou totalement.

- 5 Le fait de charger électriquement chaque 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 la cellule, ce qui améliore la quantité de lithium extraite ainsi que la cinétique de l'opération.

10

La FIGURE 8 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'une installation selon l'invention, conformément à la deuxième solution proposée.

- 15 L'installation 800, représentée sur la FIGURE 8, peut être utilisée pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention, et en particulier les procédés 600 et 700 des FIGURES 6 et 7.

L'installation 800 permet d'extraire et de récupérer une partie ou la totalité du lithium d'une cellule de batterie comprenant du lithium métallique solide, telle que par exemple la cellule 100 de la FIGURE 1, ou d'un ensemble de cellules tel que l'ensemble 200 de la FIGURE 2.

20 L'installation 800 comprend une étuve 802, remplie d'un liquide 850, configurée pour chauffer la cellule 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. Dans le mode de réalisation présenté, le liquide 850 est chauffé par l'étuve 802, et transfère la chaleur à l'ensemble de cellule(s).

25 L'installation 800 comprend une paire de pinces 804 pour maintenir la cellule 100, ou l'ensemble de cellule 200, dans une position verticale, ou au moins inclinée, dans laquelle la première bordure 110 est positionnée au-dessus du niveau de la deuxième bordure 112. Chaque pince 804 est montée mobile sur un rail vertical 806 de sorte à déplacer la cellule 100, ou l'ensemble de cellules 200, verticalement.

30

Le liquide 850 recouvre complètement l'ensemble de cellule(s), de sorte que la première bordure 110 se situe en dessous du niveau du liquide 850.

L'installation 800 comprend en outre une paire de rouleaux 808, présentant entre eux un écartement correspondant à l'épaisseur de la cellule 100, ou de l'ensemble de cellules 200, moins l'épaisseur de la (ou des) couche(s) solide(s) de lithium métallique. La paire de rouleaux est positionnée de sorte que, lorsque les pinces 804 sont déplacées vers le haut, la cellule 100, respectivement l'ensemble de cellule(s) 200, passe entre les rouleaux 808 en commençant par la deuxième bordure 112. Ainsi, les rouleaux appliquent une compression sur la cellule 100, respectivement sur l'ensemble de cellule 200, progressivement en commençant par la deuxième bordure 112 et en allant vers la première bordure 110.

15

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

Par exemple, la composition de cellule de batterie électrique comprenant du lithium métallique solide peut être différente de celle indiquée en FIGURE 1.

De plus, l'installation selon l'invention peut comprendre d'autres dispositifs que ceux représentés sur les FIGURE 5 et 7, tels que par exemple des moyens pour découper les connecteurs électriques de la cellule, des moyens de découpe des débordements sur l'une, ou sur chacune, des bordures.

Par exemple, les pinces, respectivement 504 et 804, peuvent être fixes, et ce sont les rouleaux, respectivement 508 et 808, qui peuvent être mobiles et qui peuvent venir comprimer l'ensemble de cellule(s) de haut en bas, respectivement de bas en haut, selon le mode de réalisation.

De plus, il est possible d'utiliser une seule étuve et plusieurs paires de rouleaux dédiées à une cellule ou un ensemble de cellules.

Une paire de rouleaux peut travailler afin de traiter simultanément plusieurs ensembles de cellule(s) adjacents.

A titre d'exemple, l'étape 609 peut être réalisée en plongeant la cellule 100 ou l'ensemble 200 de cellule(s) dans le liquide 850, ou en remplissant l'étuve 802 avec le liquide 850, de sorte que le liquide 850 recouvre l'ensemble 200 de cellule(s), respectivement la cellule 100.

5 Il est à noter que l'orientation de la première bordure 110 de l'ensemble d'où dépasse une ou plusieurs électrodes négatives 102, est fonction de la densité du fluide dans lequel la cellule 100, ou l'ensemble 200 de cellules, est immergée. Dans le cas où le fluide est un gaz, ce qui est couvert par la première solution proposée par la présente invention, alors la première
10 bordure 110 se situera au-dessous de la deuxième bordure 112 d'où dépasse un ou plusieurs électrodes positives 104, puisque le gaz a une densité plus faible que le lithium. Dans le cas où le fluide est un liquide plus dense que le lithium, ce qui est couvert par la deuxième solution proposée par la présente invention, alors la première bordure 110 se situera au-dessus de la deuxième
15 bordure 112.

Dans le cas où le fluide serait un liquide moins dense que le lithium alors l'orientation de la première bordure 110 serait au-dessous de la deuxième bordure 112, comme représenté dans le premier mode de réalisation.

20 De plus, le sens de compression de la cellule 100, par les rouleaux 508, respectivement 808, est plus avantageux pour compresser la cellule de la deuxième bordure 112 vers la première bordure 110. Donc selon la densité du fluide, le sens de compression n'est pas identique, comme on peut le constater dans les exemples illustrés aux FIGURES 5 et 8.

25 La première bordure 110 peut être caractérisée par le fait qu'elle définit le côté par lequel le lithium, une fois à l'état liquide, doit s'écouler.