

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 138 007

21 N° d'enregistrement national : 22 07133

51 Int Cl⁸ : H 01 M 10/54 (2022.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 12.07.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 19.01.24 Bulletin 24/03.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : TES RECUPYL SAS — FR.

72 Inventeur(s) : TEDJAR Farouk et TOCCHINI Sté-
phane.

73 Titulaire(s) : TES RECUPYL SAS.

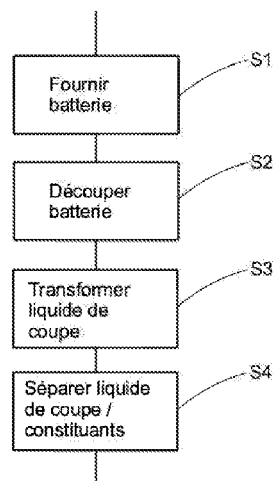
74 Mandataire(s) : CABINET HECKE.

54 PROCÉDÉ DE DÉMANTÈLEMENT D'UNE BATTERIE AU LITHIUM.

57 PROCÉDÉ DE DÉMANTÈLEMENT D'UNE BATTE-
RIE AU LITHIUM

Un procédé de démantèlement d'une batterie au lithium
comporte :- fournir (S1) une batterie au lithium ;- découper
(S2) la batterie au lithium au moyen d'un jet de liquide de
coupe sous pression, le liquide de coupe comportant au
moins un composant qui se trouve à l'état liquide ; le liquide
de coupe étant dépourvu d'eau ;- séparer (S4) des consti-
tuants de la batterie découpée et le liquide de coupe.

Le composant comporte un premier composant à l'état
liquide pour découper la batterie au lithium, par exemple du
dioxyde de carbone. Le composant peut comporter au
moins un deuxième composant choisi parmi l'éthylène gly-
col, le propylène glycol ou un mélange de ces derniers.



FR 3 138 007 - A1



Description

Titre de l'invention : PROCÉDÉ DE DÉMANTÈLEMENT D'UNE BATTERIE AU LITHIUM

Domaine technique

[0001] L'invention est relative à un procédé de démantèlement d'une batterie au lithium.

Technique antérieure

[0002] Le marché de la mobilité électrique est en plein essor ce qui se traduit par une augmentation vertigineuse du nombre de batteries en utilisation. Le nombre de batteries en utilisation va croître avec l'augmentation importante du parc automobile dans les années à venir. Il apparaît que le recyclage des batteries va devenir un enjeu majeur tant d'un point de vue environnemental qu'économique.

[0003] Lorsque la batterie présente un état qui est compatible avec une réutilisation, il sera possible de la réintroduire dans un nouveau cycle d'utilisation. En revanche, lorsque la batterie est dans un état qui est incompatible avec sa réutilisation, il sera nécessaire de recycler la batterie, c'est-à-dire de la démonter afin de dissocier les différents constituants de la batterie.

[0004] Il est connu de multiples procédés pour recycler des batteries et notamment pour recycler des batteries lithium-ion de faible capacité telles que celles qui sont utilisées pour alimenter un téléphone, un ordinateur portable ou un outillage électroportatif. Parmi les nombreux procédés destinés à recycler des batteries, les documents US7,820,317, EP1733451 illustrent des procédés utilisés de manière industrielle dans le recyclage de batterie.

[0005] Plus la charge électrique restant dans la batterie est importante et plus les risques sont grands. Afin de travailler en sécurité, il est important de tester électriquement et individuellement la batterie avant de la recycler. Cependant, lorsque la batterie est défectueuse, il n'est pas toujours facile de réaliser le test électrique. Plus la capacité de la batterie est importante et plus les risques liés au recyclage sont grands car la quantité de charge électrique stockée peut être importante et la quantité de lithium est accrue.

[0006] De manière conventionnelle, le recyclage d'une batterie nécessite d'avoir accès aux composants internes ce qui implique de démonter la batterie. Les batteries des véhicules automobiles pèsent entre 180 et 400kg et chaque fabricant possède son propre schéma d'intégration. Certaines batteries sont assemblées par des vis et des écrous, alors que d'autres batteries sont soudées ou collées. A cause de la très grande inhomogénéité dans la conception et la forme des batteries, il est très difficile voire impossible de mettre en place une stratégie automatisée de démontage de ces dernières. Par ailleurs, en cas d'accident, la batterie peut être déformée ce qui la rend indé-

montable ou difficilement démontable.

[0007] Il est alors nécessaire de recourir à un démontage manuel mécanique qui est une opération risquée car la quantité de lithium est très importante avec une charge électrique qui peut être non négligeable. Ce risque est d'autant plus important que lors de l'ouverture de la batterie, il peut y avoir un percement non-intentionnel de la batterie avec émission de solvants et/ou de composés fluorés.

Objet de l'invention

[0008] Un objet de l'invention consiste à prévoir un procédé de démantèlement d'une batterie au lithium qui est simple à mettre en œuvre et qui réduit les risques liés aux opérations d'ouverture de la batterie.

[0009] Selon un aspect de l'invention, il est proposé un procédé de démantèlement d'une batterie au lithium qui comporte les étapes suivantes :

- fournir une batterie au lithium ;
- découper la batterie au lithium au moyen d'un jet de liquide de coupe sous pression, le liquide de coupe comportant au moins un composant qui se trouve à l'état liquide ; le liquide de coupe étant dépourvu d'eau ;
- séparer des constituants de la batterie découpée et le liquide de coupe.

[0010] Avantagement, le composant comporte au moins un premier composant à l'état liquide pour découper la batterie au lithium, le au moins un premier composant étant formé par au moins une molécule qui est à l'état gazeux lorsque la au moins une molécule se trouve à une température égale à 20°C et à une pression égale à 1013hPa et dans lequel le procédé comporte en outre une transformation du premier composant de l'état liquide à l'état gazeux avant de séparer les constituants de la batterie découpée et le liquide de coupe.

[0011] Selon un mode de réalisation préférentiel de l'invention, le composant est uniquement constitué du au moins un premier composant.

[0012] Préférentiellement, le au moins un premier composant comporte du dioxyde de carbone.

[0013] Dans un mode de réalisation avantageux, le au moins un premier composant comporte majoritairement en volume du dioxyde de carbone.

[0014] De manière préférentielle, la séparation est réalisée à sec.

[0015] Selon un aspect préférentiel de l'invention, le procédé comporte, après la découpe de la batterie au lithium, une récupération du au moins un premier composant à l'état gazeux et une compression du au moins un premier composant pour le placer à l'état liquide pour le découpage d'une nouvelle batterie au lithium.

[0016] De manière avantageuse, la batterie est introduite dans une chambre remplie d'un premier gaz. Le premier composant à l'état gazeux est plus dense que le premier gaz.

[0017] Dans une configuration particulière, le liquide de coupe est dépourvu d'azote liquide.

- [0018] Dans un développement avantageux, le composant comporte au moins un deuxième composant choisi parmi l'éthylène glycol, le propylène glycol ou un mélange de ces derniers.
- [0019] Préférentiellement, le jet de liquide est un jet de liquide à une pression comprise entre 200 et 500MPa.
- [0020] Selon un mode de réalisation, le jet de liquide comporte de la polyéthéramines pour neutraliser un acide de la batterie.
- [0021] Dans un développement avantageux, le liquide de coupe comporte, en plus du composant à l'état liquide, des particules abrasives choisies parmi le carbure de silicium et un laitier de cuivre qui possède préférentiellement une base en fayalite.
- [0022] Préférentiellement, un rapport massique entre le composant à l'état liquide et les particules abrasives ($m_{\text{liquide}}/m_{\text{particules}}$) est compris entre 2 et 4.
- [0023] Dans un autre développement avantageux, la batterie au lithium est une batterie au lithium-ion.

Description sommaire des dessins

- [0024] D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation et de mise en œuvre de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :
- [0025] [Fig.1] : la [Fig.1] illustre schématiquement un synoptique d'un procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'invention ;
- [0026] [Fig.2] : la [Fig.2] illustre schématiquement une chambre de découpe munie d'une batterie et d'une buse d'injection de liquide de coupe.

Description des modes de réalisation

- [0027] Le procédé de démantèlement d'une batterie au lithium illustré à la [Fig.1] comporte une première étape S1 de fourniture de la batterie au lithium suivie par une étape S2 de découpe de la batterie au lithium au moyen d'un jet de liquide sous pression. L'étape S2 de découpe de la batterie au lithium a pour objectif d'ouvrir la batterie au lithium afin d'autoriser l'accès aux composants internes de la batterie pour séparer les différents composants. L'accès aux composants de la batterie permet par exemple de séparer le lithium, des autres constituants de la batterie par exemple des composés polymères, des métaux nobles, des pièces d'assemblages en fer ou en acier. Cela permet également d'extraire des solvants de la batterie.
- [0028] Suite à la découpe de la batterie, le procédé possède une étape S3 qui consiste à séparer les constituants de la batterie découpée et le liquide de coupe.
- [0029] Comme illustré à la [Fig.2], la découpe de la batterie 1 est réalisée dans une chambre de découpe 2. Une buse 3 est alimentée par un réservoir 4 qui contient le liquide. Des

moyens d'approvisionnement à haute pression sont configurés pour alimenter la buse 3 avec du liquide à haute pression et fournir un jet 5 de liquide à haute pression apte à découper la batterie.

- [0030] L'étape S2 de découpage de la batterie utilise un jet de liquide à haute pression. Le liquide comporte au moins un composant qui se trouve à l'état liquide. Selon les modes de réalisation, le liquide peut comporter des particules abrasives ou être dépourvu de particules abrasives.
- [0031] Le liquide utilisé pour la découpe de la batterie peut comporter un seul composant à l'état liquide ou il peut comporter un mélange de plusieurs composants à l'état liquide. Le liquide est dépourvu d'eau. L'eau est un composé qui va réagir avec un ou plusieurs constituants de la batterie. Cette réaction peut être exothermique ce qui entraîne des risques de brûlures ou d'explosion. L'eau peut également dégrader un ou plusieurs constituants de la batterie. Il est donc particulièrement avantageux de ne pas utiliser d'eau afin de découper la batterie pour éviter de détériorer les multiples constituants de la batterie. Le découpage de la batterie permet de ne pas utiliser une ouverture manuelle mécanique.
- [0032] De manière particulièrement avantageuse, le liquide utilisé pour la découpe de la batterie ne comporte que des composants liquides qui ne réagissent pas avec le lithium et de manière encore plus préférentielle que des composants liquides qui ne réagissent pas avec les constituants de la batterie. Le ou les composants du liquide de coupe sont préférentiellement inertes avec le lithium et encore plus inertes préférentiellement avec les autres constituants de la batterie.
- [0033] Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, le composant comporte au moins un premier composant à l'état liquide pour découper la batterie au lithium. Le au moins un premier composant est formé par au moins une molécule qui est à l'état gazeux lorsque la au moins une molécule se trouve à une température égale à 20°C et à une pression égale à 101325Pa.
- [0034] En d'autres termes, lors de l'opération de découpe, le premier composant se trouve à l'état liquide, mais le premier composant peut également se trouver à l'état gazeux dans des conditions de température et de pression qui ne sont pas considérées comme préjudiciable aux constituants de la batterie. Par exemple, le premier composant est choisi pour se présenter à l'état gazeux dans les conditions normales de température et de pression (0°C, 101325Pa). Cependant, il est avantageux que le premier composant soit choisi pour se présenter à l'état gazeux à une température égale à 20°C et à une pression égale à 101325Pa ce qui correspond à des conditions de travail non traumatisante pour un opérateur.
- [0035] L'utilisation d'un composant qui peut se trouver facilement à l'état gazeux permet, après une étape S4 de changement de phase du premier composant depuis la phase

liquide jusqu'à la phase solide, de faciliter la récupération d'au moins une partie du liquide de coupe.

- [0036] Dans un mode de réalisation encore plus avantageux, le composant en phase liquide est uniquement constitué du au moins un premier composant. Ainsi, lorsque l'opérateur intervient dans la chambre qui réalise la découpe de la batterie pour récupérer les constituants après l'opération de découpe, l'opérateur peut récupérer des éléments qui ne sont pas mouillés par le liquide de coupe car ce dernier est intégralement transformé en gaz.
- [0037] Afin de faciliter la séparation entre le liquide de coupe et la batterie, le procédé de démantèlement comporte une transformation du premier composant liquide pour que le premier composant liquide passe à l'état gazeux après la découpe de la batterie au lithium.
- [0038] L'utilisation d'un premier composant qui peut se trouver à l'état gazeux dans des conditions de température et de pression telles que la majorité ou l'intégralité des constituants de la batterie se trouve à l'état liquide ou à l'état solide permet de faciliter la dissociation entre le composant liquide ou le composant liquide majoritaire du liquide de coupe qui a changé de phase et les constituants de la batterie.
- [0039] Lors de la découpe de la batterie, le liquide de coupe est éjecté de la buse dans des conditions de température et de pression qui assurent que le premier composant soit à l'état liquide en sortie de la buse et qu'il atteigne la batterie à l'état liquide. De manière préférentielle, le liquide de coupe est éjecté de la buse à haute pression et éventuellement à basse température pour assurer le maintien à l'état liquide. Il est avantageux d'éjecter un liquide dont la température est comprise entre -56°C et -80°C à 1013hPa.
- [0040] Dans un mode de réalisation particulier, la découpe de la batterie est réalisée dans une chambre dont les conditions de température et de pression correspondent au au moins un premier composant à l'état gazeux. De cette manière, le premier liquide est éjecté de la buse à l'état liquide, il frappe la batterie à l'état liquide avec suffisamment d'énergie pour découper la batterie. L'échauffement du liquide de coupe lors de la découpe de la batterie permet à au moins une partie du premier composant de passer à l'état gazeux. Le premier composant qui est passé à l'état gazeux lors de la découpe reste avantageusement à l'état gazeux dans la chambre. Cette configuration permet de limiter les contraintes thermiques et mécaniques sur la chambre de découpe. Selon les configurations, le premier composant à l'état liquide qui atteint les murs de la chambre de découpe peut rester à l'état liquide ou peut passer à l'état gazeux.
- [0041] De cette manière, au fur et à mesure de la découpe de la batterie, le premier composant liquide se transforme au moins partiellement en gaz au contact de la batterie ce qui permet préférentiellement de remplir partiellement ou totalement

l'atmosphère de la chambre avec un gaz qui est inerte vis-à-vis des constituants de la batterie.

- [0042] Une fois la batterie découpée, une étape de transformation depuis l'état liquide jusqu'à l'état gazeux du premier composant est réalisée, par exemple pour la portion qui ne s'est pas réchauffée assez lors de la découpe de la batterie. La transformation peut être obtenue avec une augmentation de la température et/ou une diminution de la pression dans la chambre. De manière préférentielle, la pression dans la chambre est diminuée afin de s'équilibrer avec la pression à l'extérieur de la chambre et qui est préférentiellement comprise entre 90000Pa et 110000Pa, de préférence la pression atmosphérique, environ 101325Pa selon l'altitude et les conditions météorologiques. Il est également possible d'augmenter la température à l'intérieur de la chambre et il est préférable de ne pas dépasser 50°C.
- [0043] De manière préférentielle, la chambre de découpe est remplie par un premier gaz, un gaz pur ou un mélange gazeux avant de commencer l'opération de coupe et de préférence lors de l'introduction de la batterie dans la chambre de coupe. Il est particulièrement avantageux que le premier composant à l'état gazeux soit plus dense que le premier gaz afin d'entourer les pièces de la batterie issues de la découpe.
- [0044] De manière préférentielle, le au moins un premier composant comporte du dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone n'interagit pas avec le lithium de sorte qu'il ne va pas entraîner la dégradation du carbone par exemple la combustion du lithium. L'interaction du dioxyde de carbone avec les autres constituants de la batterie est faible ou nulle ce qui facilite le recyclage de ces derniers. Préférentiellement, le au moins un premier composant comporte majoritairement en volume du dioxyde de carbone, voire le au moins un premier composant comporte exclusivement du dioxyde de carbone. Dans un mode de réalisation avantageux, le premier composant est choisi parmi le dioxyde de carbone, l'argon et l'hélium. Le dioxyde de carbone est préféré car il est meilleur marché.
- [0045] De manière préférentielle, le premier composant est dépourvu de diazote ou de toute autre molécule apte à former de l'azote liquide dans les conditions d'application du jet de liquide. Il a été observé que l'azote peut former avec des particules de lithium des composés très réactifs tels que les azotures de lithium (LiN_3) et des nitrures de lithium (Li_3N). Les azotures de lithium se décomposent violemment lors du réchauffement de la phases liquide et ils peuvent donner naissance à des composés toxiques. Il en est de même pour les nitrures de lithium.
- [0046] De manière préférentielle, le procédé de démantèlement d'une batterie au lithium comporte, après la découpe de la batterie au lithium, une récupération du au moins un premier composant à l'état gazeux et une compression du au moins un premier composant pour le placer à l'état liquide dans le réservoir pour un nouveau cycle de

découpage d'une nouvelle batterie au lithium. Ainsi, le matériau utilisé pour réaliser la découpe de la batterie est passé à l'état gazeux afin d'être dissocié des constituants de la batterie puis est comprimé pour passer à l'état liquide et être réutilisé pour une nouvelle batterie ce qui diminue la consommation de premier composant.

- [0047] Il est particulièrement avantageux d'utiliser un premier composant qui est plus dense que l'air, par exemple le dioxyde de carbone. Lors de la transformation de la phase liquide à la phase gazeuse, cela permet de baigner les constituants de la batterie dans une atmosphère qui est moins réactive que l'air vis-à-vis de ces derniers. Le dioxyde de carbone pousse l'oxygène et les autres gaz qui peuvent réagir avec le lithium vers le haut de la chambre ce qui réduit les risques de réaction entre le lithium et les gaz présents dans l'atmosphère de la chambre. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux lorsque l'atmosphère de la chambre n'est pas remplacée avant l'étape de découpe, par exemple lorsque l'atmosphère de la chambre est de l'air au début de l'opération de découpe par un jet de liquide. Par « air », on entend un mélange gazeux qui contient au moins 75% d'azote et 20% d'oxygène.
- [0048] De manière préférentielle, la découpe de la batterie au lithium est réalisée dans une chambre, la chambre étant dépourvue d'oxygène avant d'initier la découpe. De manière préférentielle, la découpe de la batterie au lithium est réalisée dans une chambre, la chambre étant dépourvue d'azote avant d'initier la découpe.
- [0049] A la fin de l'étape de découpe par le jet de liquide, la chambre est majoritairement remplie en volume du premier composant à l'état gazeux.
- [0050] Le procédé de démantèlement d'une batterie au lithium comporte une étape S3 de récupération des pièces de la batterie, les pièces de la batterie étant sèches après la découpe de la batterie. Le premier composant ayant été transformé à l'état de gaz, les constituants de la batterie sont utilisables immédiatement pour la prochaine étape de recyclage. Lorsque le composant liquide ne comporte que le premier composant, la transformation du premier composant de l'état liquide à l'état gazeux permet de réaliser un tri à sec des constituants de la batterie. Lorsque le liquide de coupe possède des particules abrasives, il existe un tri à sec entre les particules abrasives et les constituants de la batterie.
- [0051] Dans un mode de réalisation avantageux, le composant à l'état liquide comporte au moins un deuxième composant qui est à l'état liquide dans les conditions normales de température et de pression et/ou à 20°C et à 101325Pa. De manière préférentielle, le deuxième composant possède une température d'ébullition supérieure à 120°C, avantageusement supérieure à 150°C. le deuxième composant est destiné à être majoritairement ou exclusivement à l'état liquide durant toute l'étape de découpe et jusqu'à la récupération des constituants de la batterie.
- [0052] Il est également avantageux de choisir un deuxième composant qui présente une

pression de vapeur saturante qui est faible, par exemple inférieure 50 Pa à 20°C. Bien entendu, le deuxième composant possède une réactivité faible voire nulle avec les constituants de la batterie.

[0053] Il est également avantageux de choisir un deuxième composant qui présente une température d'auto-inflammation supérieure à 300°C, plus préférentiellement supérieure à 350°C.

[0054] Selon les configurations, le composant ne comporte que le premier composant, que le deuxième composant ou un mélange entre le premier composant et le deuxième composant. De manière encore plus préférentiellement si la batterie est découpée simultanément au moyen du premier composant et du deuxième composant, le premier composant est envoyé au moyen d'une première buse et le deuxième composant est envoyé au moyen d'une deuxième buse.

[0055] Il est particulièrement avantageux de choisir le deuxième composant parmi les alkyl glycol. Dans un mode de réalisation avantageux, le composant comporte au moins un deuxième composant choisi parmi l'éthylène glycol, le propylène glycol ou un mélange de ces derniers. Ces composants sont particulièrement intéressants car ils ne régissent pas avec le lithium, ni avec la majorité des constituants de la batterie. Il est alors possible de découper la batterie sans craindre une détérioration du lithium. L'utilisation d'alkyl glycol est intéressante car cela permet d'absorber les traces d'eau présentes dans l'atmosphère ce qui réduit les risques de réaction entre les traces d'eau et les sels de lithium, ce qui permet de réduire les risques de formation d'acide fluorhydrique.

[0056] De manière avantageuse, pour obtenir une découpe rapide et efficace de la batterie et notamment de son enveloppe externe, il est préférable d'avoir une pression de jet de liquide qui est supérieure à 5Mpa, plus préférentiellement supérieure à 15Mpa, encore plus préférentiellement supérieure à 50Mpa. Lorsque le composant est majoritairement formé par le premier constituant, le jet de liquide est préférentiellement un jet de liquide à une pression comprise entre 200 et 500MPa. Il est également possible d'utiliser cette gamme de pression pour le deuxième composant.

[0057] Dans un mode de réalisation privilégié, le jet de liquide comporte de la polyétheramines, pour neutraliser un acide de la batterie. Un polyétheramine possible pour neutraliser un acide est commercialisé par la société Huntsman international sous la dénomination Jeffamine®. L'utilisation d'un polyétheramine est avantageuse en combinaison avec le premier et/ou le deuxième composant. L'utilisation de polyétheramines est particulièrement avantageuse lorsque la batterie comprend un sel de lithium hexafluorophosphate. Il est particulièrement avantageux d'utiliser un polyétheramines qui possède une pression de vapeur saturante inférieure à 50Pa à 20°C et une température de point éclair qui est supérieure à la température du deuxième

composant, préférentiellement supérieure à 110°C voire supérieure à 150°C.

- [0058] L'utilisation de polyétheramines est particulièrement avantageuse en association avec le deuxième composant choisi parmi les alkyl glycol car les propriétés du polyétheramines ne dégradent pas les performances des alkyl glycol.
- [0059] De manière à accroître le pouvoir découpant du jet de liquide par rapport aux constituants de la batterie, de préférence par rapport à l'enveloppe externe de la batterie, il est avantageux que le liquide utilisé pour former le jet de liquide comporte, en plus du composant à l'état liquide, des particules abrasives. Avantageusement, les particules abrasives sont réalisées dans un matériau qui ne réagit pas chimiquement avec le lithium et préférentiellement qui ne réagit pas chimiquement avec les autres constituants de la batterie.
- [0060] Il est particulièrement avantageux que les particules abrasives soient dépourvues d'acier et/ou de Grenat car ces matériaux peuvent réagir avec le lithium. Par Grenat, on entend un groupe de silicate de type $A_3B_2(SiO_4)_3$ dans lequel A est composé de calcium (Ca), Fer (Fe), magnésium (Mg) et Manganèse (Mn) et B concerne des inclusions à base d'aluminium (Al) chrome (Cr). Selon l'origine des gisements des traces de béryllium (Be), molybdène (Mo), cobalt (Co), nickel (Ni), Zn, cadmium (Cd), et arsenic (As) sont détectés.
- [0061] De manière préférentielle, les particules abrasives sont choisies parmi le carbure de silicium et le laitier de cuivre et préférentiellement à base de fayalite.
- [0062] Il est particulièrement avantageux d'utiliser du carbure de silicium car le carbure de silicium est très stable dans la gamme de pH comprise entre 1 et 13 tout en présentant une dureté élevée ce qui le rend apte à découper la batterie sans se dégrader chimiquement aux contacts des différents constituants de la batterie. Le carbure de silicium peut être utilisé dans la forme α qui se cristallise dans un système hexagonal ou dans sa forme β qui se cristallise dans un système cubique face centrée. Ces deux formes sont stables dans la gamme de température précitée. Il ressort également que ces deux formes sont chimiquement stables dans une gamme de température allant de -100°C à +1000°C. Le carbure de silicium présente de grandes qualités pour former des particules abrasives dans une opération de découpe par jet de liquide.
- [0063] Les particules abrasives peuvent être également des particules issues d'un laitier de cuivre. Les particules de laitier de cuivre sont issues de la fusion du minerai de cuivre. Les particules comportent une teneur massique en oxyde de fer Fe_2O_3 supérieure à 40%, une teneur massique en oxyde de silicium SiO_2 supérieure à 30%, une teneur massique en oxyde d'aluminium Al_2O_3 inférieure à 10% et une teneur massique en oxyde de calcium inférieure à 10%, de préférence inférieure à 5%.
- [0064] Il est particulièrement avantageux que les particules abrasives comportent du cuivre piégé sous la forme d'un sulfure dans une matrice vitreuse amorphe. Cela permet au

civre de ne pas se lixivier sous une forme ionique soluble.

- [0065] De manière avantageuse, les particules abrasives comportent des particules d'olivines et plus préférentiellement des particules de fayalites, c'est-à-dire des particules de Fe_2SiO_4 . Encore plus préférentiellement, les particules abrasives comportent des particules de type $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$.
- [0066] Comme les particules de carbures de silicium, les particules de laitier de cuivre possède une stabilité chimique importante sur une gamme de pH comprise entre 2 et 12 ainsi qu'une bonne stabilité thermique entre -100°C et $+1000^\circ\text{C}$.
- [0067] Dans un mode de réalisation avantageux, un rapport massique entre le composant et les particules abrasives ($m_{\text{liquide}}/m_{\text{particules}}$) est compris entre 2 et 4, lors de la découpe de la batterie par le liquide.
- [0068] Le procédé de démantèlement d'une batterie au lithium est particulièrement avantageux lorsque la batterie au lithium est une batterie au lithium-ion.
- [0069] Le procédé de démantèlement d'une batterie au lithium est particulièrement avantageux lorsque la batterie au lithium est une batterie d'un véhicule électrique, par exemple une voiture électrique.

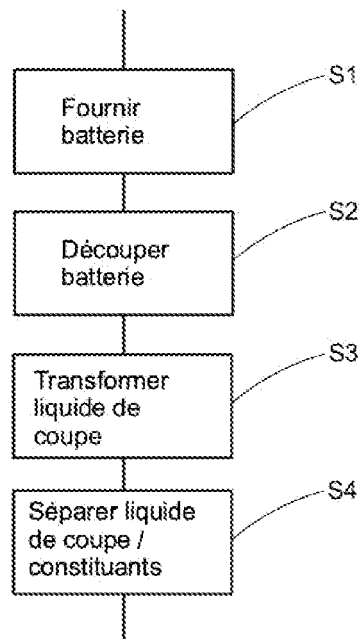
Revendications

- [Revendication 1] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium comportant les étapes suivantes :
- fournir (S1) une batterie au lithium ;
 - découper (S2) la batterie au lithium au moyen d'un jet de liquide de coupe sous pression, le liquide de coupe comportant au moins un composant qui se trouve à l'état liquide ; le liquide de coupe étant dépourvu d'eau ;
 - séparer (S4) des constituants de la batterie découpée et le liquide de coupe.
- [Revendication 2] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon la revendication 1 dans lequel, le composant comporte au moins un premier composant à l'état liquide pour découper la batterie au lithium, le au moins un premier composant étant formé par au moins une molécule qui est à l'état gazeux lorsque la au moins une molécule se trouve à une température égale à 20°C et à une pression égale à 1013hPa et dans lequel le procédé comporte en outre une transformation (S4) du premier composant de l'état liquide à l'état gazeux avant de séparer (S3) les constituants de la batterie découpée et le liquide de coupe.
- [Revendication 3] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon la revendication 2 dans lequel, le composant est uniquement constitué du au moins un premier composant.
- [Revendication 4] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 2 et 3 dans lequel le au moins un premier composant comporte du dioxyde de carbone.
- [Revendication 5] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon la revendication 4 dans lequel le au moins un premier composant comporte majoritairement en volume du dioxyde de carbone.
- [Revendication 6] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 1 à 5 dans lequel la séparation (S4) est réalisée à sec.
- [Revendication 7] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon la revendication 6 comportant, après la découpe de la batterie au lithium, une récupération du au moins un premier composant à l'état gazeux et une compression du au moins un premier composant pour le placer à l'état liquide pour le découpage d'une nouvelle batterie au lithium.
- [Revendication 8] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 2 à 7 dans lequel la batterie est introduite dans une

- chambre remplie d'un premier gaz et dans lequel le premier composant à l'état gazeux est plus dense que le premier gaz.
- [Revendication 9] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 1 à 8 dans lequel le liquide de coupe est dépourvu d'azote liquide.
- [Revendication 10] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 1 à 9 dans lequel, le composant comporte au moins un deuxième composant choisi parmi l'éthylène glycol, le propylène glycol ou un mélange de ces derniers.
- [Revendication 11] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 1 à 10 dans lequel le jet de liquide est un jet de liquide à une pression comprise entre 200 et 500MPa.
- [Revendication 12] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 1 à 11 dans lequel le jet de liquide comporte de la poly-étheramines pour neutraliser un acide de la batterie.
- [Revendication 13] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une des revendications 1 à 12 dans lequel le liquide de coupe comporte, en plus du composant à l'état liquide, des particules abrasives choisies parmi le carbure de silicium et un laitier de cuivre qui possède préférentiellement une base en fayalite.
- [Revendication 14] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon la revendication 13 dans lequel un rapport massique entre le composant à l'état liquide et les particules abrasives ($m_{\text{liquide}}/m_{\text{particules}}$) est compris entre 2 et 4.
- [Revendication 15] Procédé de démantèlement d'une batterie au lithium selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 dans lequel la batterie au lithium est une batterie au lithium-ion.

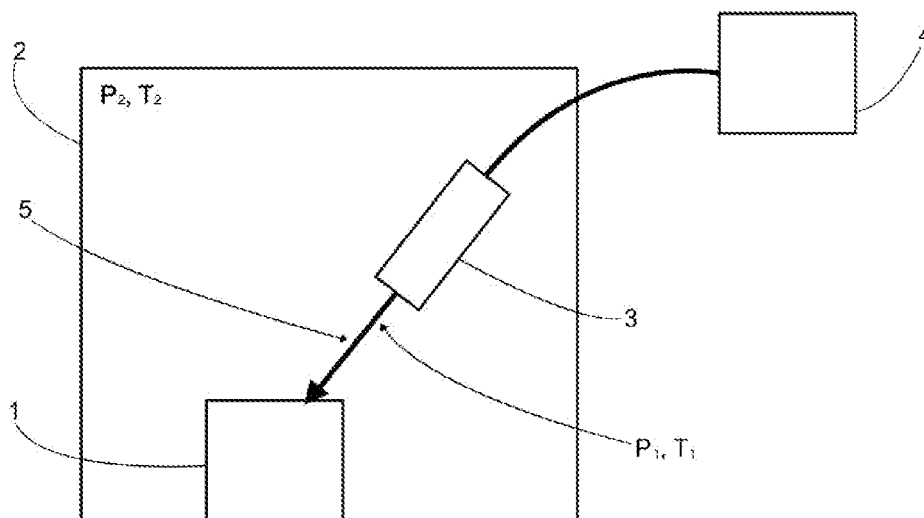
[Fig. 1]

FIG. 1



[Fig. 2]

FIG. 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 909118
FR 2207133

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2015/065785 A1 (EVEREADY BATTERY INC [US]) 7 mai 2015 (2015-05-07)	1, 9, 11, 15	H01M10/54
Y A	* alinéas [0033], [0034], [0046], [0048]; figure 2 *	10, 13, 14 2-8, 12	
A	EP 1 333 522 A1 (BATREC IND AG [CH]) 6 août 2003 (2003-08-06) * revendication 1 *	2-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 2022/056553 A1 (HUPKA LUKASZ [PL] ET AL) 24 février 2022 (2022-02-24) * alinéa [0014] *	2-8	
A	FUJITA TOYOHISA ET AL: "Reduction, reuse and recycle of spent Li-ion batteries for automobiles: A review", INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERALS, METALLURGY AND MATERIALS, vol. 28, no. 2, 13 février 2021 (2021-02-13), pages 179-192, XP037367837, ISSN: 1674-4799, DOI: 10.1007/S12613-020-2127-8 * 3.5 Crushing *	2-8	H01M
A	US 2021/328282 A1 (JANG RIN [KR] ET AL) 21 octobre 2021 (2021-10-21) * revendication 1 *	2-8	
Y	WO 2022/074328 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; ORANO [FR]) 14 avril 2022 (2022-04-14) * page 10, alinéa dernier * * page 9, alinéa *	10, 13	
Y	FR 3 105 051 A1 (WINOA [FR]) 25 juin 2021 (2021-06-25) * alinéa [0032] *	14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 mars 2023		Letilly, Marika	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2207133 FA 909118**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **01-03-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2015065785 A1	07-05-2015	EP 3063814 A1	07-09-2016
		US 2015118940 A1	30-04-2015
		WO 2015065785 A1	07-05-2015

EP 1333522 A1	06-08-2003	CA 2418527 A1	01-08-2003
		CN 1442928 A	17-09-2003
		EP 1333522 A1	06-08-2003
		JP 2003243051 A	29-08-2003
		US 2003180604 A1	25-09-2003

US 2022056553 A1	24-02-2022	EP 3906591 A1	10-11-2021
		US 2022056553 A1	24-02-2022
		WO 2020145829 A1	16-07-2020

US 2021328282 A1	21-10-2021	AUCUN	

WO 2022074328 A1	14-04-2022	FR 3115160 A1	15-04-2022
		WO 2022074328 A1	14-04-2022

FR 3105051 A1	25-06-2021	AUCUN	
