

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE BATTERIE A IONS DE LITHIUM

Domaine technique de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine des batteries, et plus particulièrement aux batteries à ions de lithium. L'invention concerne un nouveau procédé de fabrication de batteries, et notamment de batteries à ions de lithium qui présentent une architecture nouvelle qui leur confère une durée de vie améliorée.

Etat de la technique

- Des batteries rechargeables entièrement solides à ions de lithium sont connues. WO 2016/001584 (I-TEN) décrit une batterie à ions de lithium fabriquée à partir de feuilles anodiques comprenant un substrat conducteur recouvert successivement d'une couche d'anode et d'une couche d'électrolyte, et de feuilles cathodiques comprenant un substrat conducteur recouvert successivement d'une couche de cathode et d'une couche d'électrolyte ; ces feuilles sont découpées, avant ou après dépôt, selon des motifs en forme de U. Ces feuilles sont ensuite empilées de manière alternée afin de constituer un empilement de plusieurs cellules élémentaires. Les motifs de découpe des feuilles anodiques et cathodiques sont placés en configuration « tête bêche » de manière à ce que l'empilement des cathodes et des anodes soit décalé latéralement. Ensuite on dépose un système d'encapsulation d'une épaisseur de l'ordre d'une dizaine de microns sur l'empilement et dans les cavités disponibles présentes au sein de l'empilement. Ce système d'encapsulation assure la rigidité de la structure au niveau des plans de coupe et protège la cellule de la batterie de l'atmosphère. Une fois l'empilement réalisé et encapsulé, on le découpe suivant des plans de coupe pour obtenir des batteries unitaires, avec la mise à nu sur chacun des plans de coupe des zones de connexion cathodique et des zones de connexion anodique des batteries. Il se trouve que lors de ces découpes, le système d'encapsulation peut être arraché, ce qui entraîne une discontinuité de l'étanchéité de la batterie. Il est aussi connu d'ajouter des terminaisons (i.e. des contacts électriques) à l'endroit où ces zones de connexion cathodique et anodique sont apparentes.
- Il est apparu que cette solution connue peut présenter cependant certains inconvénients. En effet, en fonction du positionnement des électrodes, notamment de la proximité des bords des électrodes pour les batteries multicouches et de la propreté des découpes, un courant de fuite peut apparaître sur les extrémités, typiquement sous la forme d'un court-circuit rampant. Ce court-circuit rampant diminue la performance de la batterie, et ce, malgré l'utilisation d'un système d'encapsulation autour de la batterie et aux abords des zones de connexion cathodique et anodique. Par ailleurs, on constate parfois un dépôt

insatisfaisant du système d'encapsulation sur la batterie, notamment sur les bords de la batterie au niveau des espaces créés par les décalages latéraux des électrodes sur les bords de batterie.

La présente invention vise à remédier au moins en partie à certains inconvénients de l'art
5 antérieur évoqués ci-dessus, notamment à obtenir des batteries rechargeables à ions de lithium à forte densité d'énergie et forte densité de puissance.

Elle vise en particulier à accroître le rendement de production des batteries rechargeables à ions de lithium à forte densité d'énergie et forte densité de puissance, et à réaliser des encapsulations plus performantes à moindre coût.

10 Elle vise en particulier à proposer un procédé qui diminue le risque de court-circuit rampant ou accidentel et qui permet de fabriquer une batterie présentant une faible autodécharge.

Elle vise en particulier à proposer un procédé, qui permet de fabriquer de manière simple, fiable et rapide une batterie présentant une durée de vie très élevée.

Elle vise également à proposer un procédé de fabrication de batteries simple, rapide et
15 économique.

Objets de l'invention

Un premier objet de l'invention est une batterie de fabrication d'au moins une batterie
20 (1000), chaque batterie comprenant au moins une entité anodique (110) et au moins une entité cathodique (140), disposées l'une au-dessus de l'autre de manière alternée selon une direction frontale (ZZ) de la batterie (1000),

dans laquelle batterie, ladite entité anodique (110) comprend :

un substrat collecteur de courant anodique (10), au moins une couche d'anode (20), et
25 éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur (31) imprégné d'un électrolyte,

et dans laquelle batterie ladite entité cathodique (140) comprend

un substrat collecteur de courant cathodique (40), au moins une couche de cathode (50),
et éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur (31)
30 imprégné d'un électrolyte,

ladite batterie (1000) présentant six faces, à savoir

- deux faces dites frontales (F1, F2) mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles, globalement parallèles à chaque entité anodique (110) et, à chaque entité cathodique (140),
- 35 - deux faces dites latérales (F3, F5) mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles ; et

- deux faces dites longitudinales (F4, F6), mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles,
 étant entendu que la première face longitudinale (F6) de la batterie comprend au moins une zone de connexion anodique (1002) et qu'une seconde face longitudinale (F4) de la batterie
 5 comprend au moins une zone de connexion cathodique (1006), lesdites zones de connexion anodique (1002) et cathodique (1006) étant latéralement opposées,
 - chaque entité anodique (110) et chaque entité cathodique (140) comprenant un corps primaire (111, 141) respectif, séparé d'un corps secondaire (112, 142) respectif, par un espace libre (113, 143) de tout matériau d'électrode, d'électrolyte
 10 et de substrat collecteur de courant ;
 - lorsque la batterie comprend plusieurs espaces libres (113), selon ladite direction frontale (ZZ) de la batterie ;
 - les espaces libres ménagés entre chaque corps primaire (111) et chaque corps secondaire (112) de chaque entité anodique (110) sont superposés ;
 - 15 ➤ les espaces libres ménagés entre chaque corps primaire (141) et chaque corps secondaire (142) de chaque entité cathodique (140) sont superposés ; et
 - les espaces libres de chaque entité anodique (110) et de chaque entité cathodique (140) ne sont pas confondus ;
- ledit procédé de fabrication comprenant :
- 20 a) la réalisation d'un empilement (I) comprenant, en vue de dessus, x rangées avec x strictement supérieur à 1 ainsi que y ligne(s) avec y supérieur ou égal à 1, de manière à former un nombre (x*y) de batteries
 cet empilement étant formé par une succession alternée de strates (SA, SC) respectivement cathodique (SC) et anodique (SA), chaque strate cathodique (SC) étant
 25 destinée à former un nombre (x*y) d'entités cathodiques (140) alors que chaque strate anodique (SA) est destinée à former un nombre (x*y) d'entités anodiques (110),
 chaque strate (SA, SC) comprenant une pluralité d'ébauches primaires (111', 141'), respectivement anodique (111') et cathodique (141') , dont chacune est destinée à former un corps primaire (111, 141) respectif, une pluralité d'ébauches secondaires (112', 142'),
 30 respectivement anodique (112') et cathodique (142'), dont chacune est destinée à former un corps secondaire (112, 142) respectif, l'ébauche primaire (111', 141') et l'ébauche secondaire (112', 142') étant mutuellement séparées par une zone dite vide (80'', 70''), laquelle est destinée à former au moins un desdits espaces libres (113, 143), et lorsque la batterie comprend plusieurs espaces libres (113), selon la direction frontale (ZZ) de la
 35 batterie ;
 - les zones vides (80'') des différentes strates anodiques (SA) sont superposées ;

- les zones vides (70'') des différentes strates cathodiques (SC) sont superposées ;
et
 - les zones vides (80'', 70'') de chaque strate anodique (SA) et de chaque strate cathodique (SC) ne sont pas confondues,
- 5 b) la réalisation d'un traitement thermique et/ou d'une compression mécanique de l'empilement (I) obtenu à l'étape a) de manière à former un empilement consolidé ;
- c) la réalisation d'une paire de découpes principales (DY_n, DY'_n) entre deux zones vides adjacentes (80'', 70''), en vue de dessus, de manière à mettre à nu la zone de connexion anodique (1002) et la zone de connexion cathodique (1006), et à séparer une batterie
- 10 donnée, formée à partir d'une rangée donnée (R_n), vis-à-vis d'au moins une autre batterie adjacente, formée à partir d'au moins une rangée adjacente (R_{n+1}).

Selon un premier mode de réalisation, chaque strate (SA, SC) est formée par une feuille d'un seul tenant, les zones vides correspondant en particulier à des chutes de matière dans

15 la feuille (70, 80, 70', 80').

Selon un autre mode de réalisation, chaque strate (SA, SC) est formée par une pluralité de bandes indépendantes (A₁, A₂, A_n, C₁, C₂, C_n), les zones vides (113', 143') étant définies entre les bords (LA, LC) en regard des bandes adjacentes.

20

Selon une première variante de l'invention, on réalise des zones vides dites de faible dimension (80,70) appelées fentes, chaque zone vide, dite de faible dimension, est destinée à former un unique espace libre.

25 Selon une seconde variante de l'invention, on réalise des zones vides dites de grande dimension (80',70') appelées entailles, chaque zone vide de grande dimension étant destinées à former une pluralité d'espaces libres dans une même rangée, en particulier l'ensemble des espaces libres de ladite même rangée (R_n).

30 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, les zones vides (70, 70', 80', 80') présentent une forme rectangulaire, notamment une forme de I.

Selon une caractéristique de l'invention on réalise après l'étape b), lors d'une étape d), une paire de découpes accessoires (DX_n, DX'_n) permettant de séparer une ligne (L_n) donnée

35 vis-à-vis d'au moins une ligne adjacente (L_{n-1}, L_{n+1}) appartenant audit empilement consolidé.

Selon une autre caractéristique de l'invention on réalise, lors d'une étape e), l'imprégnation de l'empilement consolidé obtenu à l'étape b) ou l'imprégnation de la ligne (L_n) de batteries (1000) obtenue à l'étape d) lorsque l'étape d) est réalisée, par une phase porteuse d'ions de lithium telle que des électrolytes liquides ou un liquide ionique contenant des sels de lithium, de sorte que ladite couche de séparateur (31) soit imprégnée par un électrolyte ;

- Selon une caractéristique de l'invention on réalise, avant l'étape c) et après l'étape e) si cette dernière est réalisée ou bien, si l'étape e) n'est pas réalisée, après l'étape d) si l'étape d) est réalisée ou bien, si les étapes e) et d) ne sont pas réalisées, après l'étape b),
- une étape f) d'encapsulation de l'empilement consolidé ou de la ligne (L_n) de batteries (1000), de préférence, dans laquelle on recouvre, par un système d'encapsulation (95), la périphérie extérieure de l'empilement (I) ou de la ligne (L_n) de batteries (1000), de préférence, les faces frontales de l'empilement (F1, F2) ou de la ligne (L_n) de batteries (FF1, FF2), les faces latérales (F3, F5, FF3, FF5) et les faces longitudinales (F4, F6, FF4, FF6) de l'empilement (I) ou de la ligne (L_n) de batteries (1000),
- ledit système d'encapsulation (95) comprenant, de préférence,
- optionnellement, au moins une première couche de recouvrement, de préférence choisie parmi le parylène, le parylène de type F, le polyimide, les résines époxy, le silicone, le polyamide, la silice sol-gel, la silice organique et/ou un mélange de ceux-ci, déposée sur la périphérie extérieure de l'empilement (I) ou de la ligne (L_n) de batteries (1000),
 - optionnellement une deuxième couche de recouvrement composée d'une matière électriquement isolante déposée par dépôt de couches atomiques, sur la périphérie extérieure de l'empilement (I) ou sur la périphérie extérieure de la ligne (L_n) de batteries (1000) ou sur la première couche de recouvrement, et
 - au moins une troisième couche de recouvrement étanche, de préférence ayant une perméance à la vapeur d'eau (WVTR) inférieure à 10^{-5} g/m².d, cette troisième couche de recouvrement étant composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion, de préférence d'un verre dont le point de fusion est inférieur à 600°C, déposée sur la périphérie extérieure de l'empilement (I) ou sur la périphérie extérieure de la ligne (L_n) de batteries (1000), ou de la première couche de recouvrement,
- étant entendu qu'une séquence d'au moins une deuxième couche de recouvrement et d'au moins une troisième couche de recouvrement peut être répétée z fois avec $z \geq 1$ et déposée à la périphérie externe d'au moins la troisième couche de recouvrement, et que la dernière couche du système d'encapsulation est une couche de recouvrement étanche, de

préférence ayant une perméance à la vapeur d'eau (WVTR) inférieure à 10^{-5} g/m².d et étant composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion.

Selon une autre caractéristique de l'invention, après l'étape c), on réalise une étape g) dans laquelle on recouvre au moins la zone de connexion anodique (1002), de préférence au moins la première face longitudinale (F6) comprenant au moins la zone de connexion anodique (1002), par un organe de contact anodique (97'), apte à assurer le contact électrique entre l'empilement (I) et un élément conducteur externe, et en ce qu'on recouvre au moins la zone de connexion cathodique (1006), de préférence au moins la seconde face longitudinale (F4) comprenant au moins la zone de connexion cathodique (1006), par un organe de contact cathodique (97''), apte à assurer le contact électrique entre l'empilement (I) et un élément conducteur externe,

l'étape (i) comprenant :

- le dépôt sur au moins la zone de connexion anodique (1002) et sur au moins la zone de connexion cathodique (1006), de préférence, sur au moins la première face longitudinale (F6) comprenant au moins la zone de connexion anodique (1002), et sur au moins la seconde face longitudinale (F4) comprenant au moins la zone de connexion cathodique (1006), d'une première couche de connexion électrique de matériau chargé en particules électriquement conductrices, ladite première couche étant de préférence formée de résine polymérique et/ou d'un matériau obtenu par un procédé sol-gel chargé en particules électriquement conductrices ;
- optionnellement, lorsque ladite première couche est formée de résine polymérique et/ou d'un matériau obtenu par un procédé sol-gel chargé en particules électriquement conductrices, une étape de séchage suivie d'une étape de polymérisation de ladite résine polymérique et/ou dudit matériau obtenu par un procédé sol-gel ; et
- le dépôt, sur la première couche, d'une deuxième couche de connexion électrique comprenant une feuille métallique disposée sur la première couche de connexion électrique.
- optionnellement, le dépôt sur la deuxième couche de connexion électrique, d'une troisième couche de connexion électrique comprenant une encre conductrice.

Selon encore une caractéristique de l'invention, les découpes réalisées à l'étape d) lorsque cette étape est réalisée, et/ou à l'étape c), sont effectuées par ablation laser, de préférence en ce que toutes les découpes réalisées à l'étape d) lorsque cette étape est réalisée, et/ou à l'étape c) sont effectuées par laser.

L'invention a également pour objet une batterie (1000) comprenant au moins une entité anodique (110) et au moins une entité cathodique (140), disposée l'une au-dessus de l'autre de manière alternée selon une direction frontale (ZZ) au plan principal de la batterie (1000), formant un empilement (I),

- 5 dans laquelle ladite entité anodique (110) comprend : un substrat collecteur de courant anodique (10), au moins une couche d'anode (20), et éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur (31) imprégné d'un électrolyte, et dans laquelle ladite entité cathodique (140) comprend : un substrat collecteur de courant cathodique (40), au moins une couche de cathode (50), et éventuellement une couche d'un
- 10 matériau d'électrolyte (30) ou d'un séparateur (31) imprégné d'un électrolyte ;
- ladite batterie (1000) présentant six faces, à savoir

- deux faces dites frontales (F1, F2) mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles, globalement parallèles à chaque entité anodique (110), à chaque entité cathodique (140), au(x) substrat(s) collecteur de courant anodique
- 15 (10), au(x) couche(s) d'anode (20), au(x) couche(s) d'un matériau d'électrolyte (30) ou au(x) couche(s) de séparateur imprégné d'un électrolyte (31), au(x) couche(s) de cathode (50), et au(x) substrat(s) collecteur de courant cathodique (40),
- deux faces dites latérales (F3, F5) mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles,
- 20 - et deux faces dites longitudinales (F4, F6), mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles,

- étant entendu que la première face longitudinale (F6) de la batterie comprend au moins une zone de connexion anodique (1002) et qu'une seconde face longitudinale (F4) de la batterie comprend au moins une zone de connexion cathodique (1006), lesdites zones de
- 25 connexion anodique (1002) et cathodique (1006) étant latéralement opposées,
- de sorte que :

- chaque entité anodique (110) et chaque entité cathodique (140) comprend un corps primaire (111, 141) respectif, séparé d'un corps secondaire (112, 142) respectif, par un espace libre (113, 143) de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat
- 30 collecteur de courant,
- lorsque la batterie comprend plusieurs espaces libres (113), selon une direction frontale (ZZ) au plan principal de la batterie,
 - les espaces libres ménagés entre chaque corps primaire (111) et chaque corps secondaire (112) de chaque entité anodique (110) sont superposés,

- les espaces libres ménagés entre chaque corps primaire (141) et chaque corps secondaire (142) de chaque entité anodique (110) sont superposés, et
 - les espaces libres de chaque entité anodique (110) et de chaque entité cathodique (140) ne sont pas confondus.
- 5 caractérisée en ce que la batterie comprend un système d'encapsulation recouvrant au moins en partie la périphérie extérieure de l'empilement (I), ledit système d'encapsulation (95) recouvrant les faces frontales de l'empilement (F1, F2), les faces latérales (F3, F5) et au moins en partie les faces longitudinales (F4, F6) de sorte que
- 10 seules les zones de connexion anodique (1002) et cathodique (1006), de préférence, la première face longitudinale (F6) comprenant au moins la zone de connexion anodique (1002), et la seconde face longitudinale (F4) comprenant au moins la zone de connexion cathodique (1006),
- ne sont pas recouvertes dudit système d'encapsulation (95), ledit système d'encapsulation
- 15 (95) comprenant :
- optionnellement, une première couche de recouvrement, de préférence choisie parmi le parylène, le parylène de type F, le polyimide, les résines époxy, le silicone, le polyamide, la silice sol-gel, la silice organique et/ou un mélange de ceux-ci, déposée sur au moins en partie la périphérie extérieure de l'empilement (I),
 - 20 - optionnellement une deuxième couche de recouvrement composée d'une matière électriquement isolante déposée par dépôt de couches atomiques, sur au moins en partie la périphérie extérieure de l'empilement (I), ou sur la première couche de recouvrement,
 - au moins une troisième couche de recouvrement étanche, de préférence ayant une perméance à la vapeur d'eau (WVTR) inférieure à 10^{-5} g/m².d, cette troisième
 - 25 couche de recouvrement étant composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion, de préférence d'un verre dont le point de fusion est inférieur à 600°C, déposée sur au moins en partie la périphérie extérieure de l'empilement (I), ou sur la première couche de recouvrement,
- 30 étant entendu que lorsque ladite deuxième couche de recouvrement est présente, une succession de ladite deuxième couche de recouvrement et de ladite troisième couche de recouvrement peut être répétée z fois avec $z \geq 1$ et déposée à la périphérie externe d'au moins la troisième couche de recouvrement,
- la dernière couche du système d'encapsulation étant une couche de recouvrement étanche,
- 35 de préférence ayant une perméance à la vapeur d'eau (WVTR) inférieure à 10^{-5} g/m².d et étant composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion.

Selon une caractéristique avantageuse de la batterie conforme à l'invention, la zone de connexion anodique (1002), de préférence la première face longitudinale (F6) comprenant au moins la zone de connexion anodique (1002), est recouverte par un organe de contact anodique (97'),
5 et en ce qu'au moins la zone de connexion cathodique (1006), de préférence la seconde face longitudinale (F4) comprenant au moins la zone de connexion cathodique (1006), est recouverte par un organe de contact cathodique (97''),
étant entendu que lesdits organes de contact anodique (97') et cathodique (97'') sont apte
10 à assurer le contact électrique entre l'empilement (I) et un élément conducteur externe.

Selon une autre caractéristique de la batterie conforme à l'invention, chacun des organes de contact anodique (97') et cathodique (97'') comprend :

- une première couche de connexion électrique, disposée sur au moins la zone de connexion anodique (1002) et au moins la zone de connexion cathodique (1006),
15 de préférence sur la première face longitudinale (F6) comprenant au moins la zone de connexion cathodique (1002) et sur la seconde face longitudinale (F4) comprenant au moins la zone de connexion cathodique (1006),
cette première couche comprenant un matériau chargé en particules électriquement conductrices, de préférence une résine polymérique et/ou un matériau obtenu par un procédé sol-gel, chargé en particules électriquement conductrices et encore plus préférentiellement une résine polymérique chargée en graphite, et
20
- une deuxième couche de connexion électrique comprenant une feuille métallique disposée sur la première couche de matériau chargé en particules électriquement conductrices.
25

Selon un premier mode de réalisation, la batterie conforme à l'invention a une capacité inférieure ou égale à 1 mA h.

30 Selon un mode de réalisation alternatif, la batterie conforme à l'invention a une capacité supérieure à 1 mA h.

Figures

Les figures annexées, données à titre d'exemples non limitatifs, représentent différents
35 aspects et modes de réalisation de l'invention.

[Fig. 1] est une vue en perspective de feuilles anodique et cathodique destinées à former un empilement selon le procédé de fabrication de batteries conforme à l'invention, ces feuilles anodique et cathodique présentant des zones vides, dites de faible dimension, i.e des fentes.

- 5 [Fig. 2] est une vue de dessus, illustrant l'une des feuilles, notamment une feuille anodique, de la figure 1.

[Fig. 3] est une vue de dessus, illustrant l'empilement de feuilles anodique et cathodique ainsi que les zones vides de faible dimension, i.e des fentes ménagées dans des feuilles adjacentes, selon l'invention.

- 10 [Fig. 4] est une vue de dessus, à plus grande échelle, illustrant des zones vides de faible dimension, i.e des fentes ménagées dans des feuilles adjacentes, selon l'invention.

[Fig. 5] est une vue en perspective, également à grande échelle, illustrant ces zones vides de faible dimension, i.e ces fentes ménagées dans des feuilles adjacentes.

[Fig. 6] est une vue de dessus, illustrant une étape de découpe réalisée sur différentes

- 15 fentes ménagées dans l'empilement des figures précédentes.

[Fig. 7] est une vue de dessus, illustrant une ligne de batteries selon l'invention obtenue après découpes de l'empilement selon les lignes de découpe DX_n et DX'_n .

[Fig. 8] est une vue en coupe, selon la ligne de coupe VIII-VIII qui correspond à la ligne de découpe DX'_n , indiquée sur la figure 6 illustrant l'empilement, selon l'invention, des feuilles

- 20 anodique et cathodique présentant des fentes.

[Fig. 9] est une vue en coupe, selon la ligne de coupe VIII-VIII qui correspond à la ligne de découpe DX'_n , indiquée sur la figure 6 illustrant l'empilement, selon l'invention, des feuilles anodique et cathodique présentant des fentes ainsi que le corps primaire anodique, le corps secondaire anodique, le corps primaire cathodique et le corps secondaire cathodique.

- 25 [Fig. 10] est une vue en perspective avec arrachement illustrant une ligne de batteries conforme à l'invention encapsulée dans un système d'encapsulation, qui est susceptible d'être obtenue notamment selon le procédé des figures précédentes.

[Fig. 11] est une vue en perspective avec arrachement illustrant une batterie conforme à l'invention comprenant un système d'encapsulation, qui est susceptible d'être obtenue

- 30 notamment selon le procédé des figures précédentes.

[Fig. 12] est une vue en perspective avec arrachement illustrant une batterie conforme à l'invention comprenant un système d'encapsulation, qui est susceptible d'être obtenue notamment selon le procédé des figures précédentes et illustrant l'empilement ainsi que le corps primaire anodique, le corps secondaire anodique, le corps primaire cathodique et le

- 35 corps secondaire cathodique.

[Fig. 13] est une vue en coupe, selon la ligne de coupe VIII-VIII ou la ligne de découpe DX'_n, illustrant une batterie conforme à l'invention comprenant un système d'encapsulation et des organes de contact, qui est susceptible d'être obtenue notamment selon le procédé des figures précédentes.

- 5 [Fig. 14] est une vue en perspective illustrant une batterie avec arrachement selon l'art antérieur.

[Fig. 15] est une vue de dessus, illustrant l'empilement de feuilles anodique et cathodique ainsi que les zones vides dites de grande dimension, i.e. les entailles ménagées dans des feuilles adjacentes, selon une première variante de l'invention.

- 10 [Fig. 16] est une vue de dessus, illustrant une étape de découpe réalisée sur différentes entailles ménagées dans l'empilement de la figure précédente selon la première variante de l'invention, et montrant les batteries obtenues selon cette même variante.

[Fig. 17] est une vue de dessus, illustrant l'empilement de bandes anodique et cathodique ainsi que les espacements prévus entre des bandes adjacentes, selon une seconde

- 15 variante de l'invention.

[Fig. 18] est une vue en coupe, selon la ligne de découpe DX'_n, indiquée sur la figure 17 illustrant l'empilement, selon la seconde variante de l'invention.

[Fig. 19] est une vue de dessus, analogue à la figure 6, illustrant une variante de réalisation des fentes ménagées dans l'empilement.

- 20 [Fig. 20] est une vue de dessus, illustrant de manière schématique une batterie susceptible d'être obtenue grâce à un empilement pourvu de fentes selon la figure 19.

[Fig. 21] est une vue de dessus, analogue la figure 19, illustrant une variante de réalisation de fentes, qui n'appartient pas à la présente invention.

- 25 Les repères suivants sont utilisés sur ces figures et dans la description qui suit :

1000	Batterie selon l'invention
1002	Zone de connexion anodique
1006	Zone de connexion cathodique
30 100, 100', 100''	Cellule élémentaire
10	Substrat collecteur de courant anodique
20	Couche d'anode
30	Couche d'un matériau d'électrolyte / Couche d'électrolyte
31	Couche de séparateur imprégné ou ultérieurement imprégné d'un
35	électrolyte / Couche de séparateur
50	Couche de cathode

40	Substrat collecteur de courant cathodique
80	Fente dans les feuilles d'anode, fente anodique, zone vide de faible dimension anodique
80'	Entaille anodique / zone vide dite de grande dimension anodique
5	
l_{80}	Largeur totale / Dimension latérale totale de la fente anodique 80
L_{80}	Longueur totale / Dimension longitudinale totale de la fente anodique
L_{80}'	Longueur totale / Dimension longitudinale totale de l'entaille anodique
L_{80}''	Longueur totale / Dimension longitudinale totale de l'espace libre anodique
10	
70	Fente dans les feuilles de cathode, fente cathodique, zones vides de faible dimension cathodique
70'	Entaille cathodique / zone vide dite de grande dimension cathodique
15	
l_{70}	Largeur totale / Dimension latérale totale de la fente cathodique 70
L_{70}	Longueur totale / Dimension longitudinale totale de la fente cathodique
L_{70}'	Longueur totale / Dimension longitudinale totale de l'entaille cathodique
20	
L_{70}''	Longueur totale / Dimension longitudinale totale de l'espace libre cathodique
110	Entité anodique
111, 141	Corps primaire de 110, respectivement de 140
112, 142	Corps secondaire de 110, respectivement de 140
25	
113, 143	Espace libre entre 111 et 112, respectivement entre 141 et 142
140	Entité cathodique
LA	Bords latéraux des bandes anodiques
LC	Bords latéraux des bandes cathodiques
SA, SA ₁ , SA ₂ , ... SA _n	Strate anodique
30	
SC, SC ₁ , SC ₂ , ... SC _n	Strate cathodique
111', 141'	Ébauche primaire de SA, respectivement de SC
112', 142'	Ébauche secondaire de SA, respectivement de SC
80'', 70''	Zone vide entre 111' et 112', respectivement entre 141' et 142'
80''	Espace libre ménagé entre deux bandes anodiques voisines selon une direction longitudinale / espace libre anodique
35	

	70''	Espace libre ménagé entre deux bandes cathodiques voisines selon une direction longitudinale / espace libre cathodique
	L ₁₁₂	Longueur du corps secondaire de 110
	L ₁₁₃	Longueur de l'espace libre entre 111 et 112
5	L ₁₄₂	Longueur du corps secondaire de 140
	L ₁₄₃	Longueur de l'espace libre entre 141 et 142
	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C _n , C' ₁ , C' ₂ , C' ₃ , C' ₄ , C' _n	Cande cathodique
	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄ , A _n , A' ₁ , A' ₂ , A' ₃ , A' ₄ , A' _n	Bande anodique
	90	Chutes de matière
10	95	Système d'encapsulation
	97	Organe de contact
	97'	Organe de contact anodique
	97'a	Ergot d'organe de contact anodique recouvrant les extrémités des faces adjacentes F1,F2,F3,F5 à la face longitudinale F6
15	97''	Organe de contact cathodique
	97''a	Ergot d'organe de contact cathodique recouvrant les extrémités des faces adjacentes F1,F2,F3,F5 à la face longitudinale F4
	L ₁₀₀₀	Longueur de la batterie
	I	Empilement de feuilles anodiques présentant des zones vides et cathodiques présentant des zones vides / Empilement d'au moins une cellule élémentaire
20	2e	Feuille anodique présentant des zones vides telles que des fentes ou des entailles)
	5e	Feuille cathodique présentant des zones vides telles que des fentes ou des entailles
25	4	Zone centrale perforée de la feuille anodique présentant des entités élémentaires
	6	Cadre périphérique de la feuille anodique présentant des entités élémentaires
30	7	Perforations présentes aux quatre extrémités des feuilles anodiques et cathodiques
	8	Ponts de matière entre deux lignes
	l ₈	Largeur des ponts
	9	Seconds ponts de matières entre deux rangées de fentes
35	L ₉	Longueur des seconds ponts de matières
	XX	Direction longitudinale ou horizontale de l'empilement / de la batterie

	YY	Direction latérale ou transversale de l'empilement / de la batterie
	ZZ	Direction frontale de l'empilement / de la batterie
	L, L_n, L_{n-1}, L_{n+1}	Ligne des fentes / Ligne de batteries
	R, R_n, R_{n-1}, R_{n+1}	Rangée des fentes
5	PA, PA'	Plan anodique
	PC, PC'	Plan cathodique
	$DX_{n-1}, DX'_{n-1}, DX_n, DX'_n, DX_{n+1}, DX'_{n+1}$	Première paire de découpes dites découpes accessoires
	$DY_{n-1}, DY'_{n-1}, DY_n, DY'_n, DY_{n+1}, DY'_{n+1}$	Seconde paire de découpes dites découpes principales
10	AA	Interface entre le système d'encapsulation et les organes de contact
	2000	Batterie selon l'art antérieur
	200, 200', 200''	Cellule élémentaire d'une batterie selon l'art antérieur
	2002	Zone de connexion anodique d'une batterie selon l'art antérieur
15	2006	Zone de connexion cathodique d'une batterie selon l'art antérieur
	295	Système d'encapsulation d'une batterie selon l'art antérieur
	F1, F2	Faces frontales de l'empilement (I) / de la batterie (1000)
	F3, F5	Faces latérales de l'empilement (I) / de la batterie (1000)
	F4, F6	Faces longitudinales de l'empilement (I) / de la batterie (1000)
20	FF1, FF2	Faces frontales de la ligne de batteries (L_n)
	FF3, FF5	Faces latérales de la ligne de batteries (L_n)
	FF4, FF6	Faces latérales de la ligne de batteries (L_n)

Description de l'invention

- 25 On associe à cette batterie, par convention, les dénominations géométriques suivantes :
- ZZ la direction dénommée frontale, à savoir perpendiculaire au plan des différentes couches empilées de la batterie selon l'invention
- XX la direction dénommée longitudinale, laquelle est incluse dans le plan des couches empilées et laquelle est parallèle à la plus grande dimension de ces couches formant
- 30 l'empilement de la batterie selon l'invention, en vue de dessus, à savoir selon la direction frontale
- YY la direction dénommée latérale ou transversale, laquelle est incluse dans le plan des couches empilées et laquelle est parallèle à la plus petite dimension de ces couches, en vue de dessus.

Par convention également, les deux sens associés à chacune de ces trois directions sont donnés en référence au plan de la feuille sur laquelle est reproduite la figure 11 ou la figure 12.

Pour la direction XX, on associe donc le sens vers la droite et le sens vers la gauche, pour la direction YY, on associe le sens vers l'avant et le sens vers l'arrière, et pour la direction ZZ, on associe le sens vers le haut et le sens vers le bas, en référence au plan de la feuille sur laquelle est reproduite la figure 11 ou la figure 12.

Par convention également, on définit un premier sens longitudinal **XX'** dirigé de droite à gauche et un second sens longitudinal **XX''**, opposé au premier sens longitudinal **XX'**, à savoir dirigé de gauche à droite, en référence au plan de la feuille sur laquelle est reproduite la figure 11 ou la figure 12. On définit, toujours en référence au plan de la feuille sur laquelle est reproduite la figure 11 ou la figure 12, un premier sens latéral **YY'** dirigé de l'avant vers l'arrière, un second sens latéral **YY''**, opposé au premier sens latéral, un premier sens frontal **ZZ'** dirigé du haut vers le bas, ainsi qu'un second sens frontal **ZZ''**, opposé au premier sens frontal.

Pour caractériser les propriétés de barrière d'un système d'encapsulation, on se réfère dans la présente description au coefficient WVTR (Water Vapor Transmission Rate) qui caractérise la perméance à la vapeur d'eau d'un système d'encapsulation. Plus le coefficient WVTR est faible plus le système d'encapsulation est étanche. La perméance à la vapeur d'eau (WVTR) peut être déterminée à l'aide d'une méthode qui fait l'objet du US 7,624,621 et qui est également décrite dans la publication « *Structural properties of ultraviolet cured polysilazane gas barrier layers on polymer substrates* » par A. Morlier et al., parue dans la revue Thin Solid Films 550 (2014) 85-89.

25

La présente invention vise la fabrication d'une batterie telle que présentée en figure 11 et en figure 12.

En référence aux figures 11 & 12, on a illustré l'une **1000** des batteries conformes à l'invention comprenant au moins une entité anodique **110** et au moins une entité cathodique **140**, disposées l'une au-dessus de l'autre de manière alternée selon une direction frontale **ZZ** de la batterie **1000**.

Chaque entité anodique **110** de la batterie **1000** selon l'invention, comprend, selon la direction frontale **ZZ** de la batterie **1000**, un substrat collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, et éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte.

Chaque entité cathodique **140** de la batterie **1000** selon l'invention comprend, selon la direction frontale **ZZ** de la batterie **1000**, un substrat collecteur de courant cathodique **40**, au moins une couche de cathode **50**, et éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte.

- 5 Comme illustré en figure 11, la batterie **1000** selon l'invention présente six faces. On définit
- deux faces dites frontales **F1**, **F2** mutuellement opposées, dans l'exemple mutuellement parallèles, globalement parallèles à chaque entité anodique **110** et, à chaque entité cathodique **140**,
 - deux faces dites latérales **F3**, **F5** mutuellement opposées, dans l'exemple
 - 10 mutuellement parallèles ; et
 - deux faces dites longitudinales **F4**, **F6**, mutuellement opposées, dans l'exemple mutuellement parallèles.

- Comme représenté en figure 11, la première face longitudinale **F6** de la batterie **1000** comprend au moins une zone de connexion anodique **1002**. La seconde face longitudinale
- 15 **F4** de la batterie **1000** comprend au moins une zone de connexion cathodique **1006**. De la sorte les zones de connexion anodique **1002** et cathodique **1006** sont latéralement opposées. Par ailleurs, chaque entité anodique **110** et chaque entité cathodique **140** comprend, selon une direction longitudinale **XX** de la batterie **1000**, un corps primaire **111**, **141** respectif, séparé d'un corps secondaire **112**, **142** respectif, par un espace libre **113**,
- 20 **143** de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat collecteur de courant. Ainsi, pour chaque entité cathodique **140**, le corps primaire **141**, l'espace libre **143** de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat collecteur de courant, et le corps secondaire **142** sont disposés les uns à côté des autres selon un premier sens longitudinale **XX'** de la batterie **1000**. De manière analogue, pour chaque entité anodique **110**, le corps
- 25 primaire **111**, l'espace libre **113** de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat collecteur de courant, et le corps secondaire **112** sont disposés les uns à côté des autres selon un second sens longitudinale **XX''**, opposé au premier sens longitudinal **XX'**, de la batterie **1000**.

- 30 Comme représenté en figure 11, la batterie **1000** selon l'invention comprend, à titre d'exemple non limitatif, plusieurs espaces libres **113**, **143**, selon ladite direction frontale **ZZ** de la batterie. De la sorte, en vue de dessus, les espaces libres ménagés entre chaque corps primaire **111** et chaque corps secondaire **112** de chaque entité anodique **110** sont superposés, et les espaces libres ménagés entre chaque corps primaire **141** et chaque
- 35 corps secondaire **142** de chaque entité cathodique **140** sont superposés. Par ailleurs, les

espaces libres **113**, **143** de chaque entité anodique **110** et de chaque entité cathodique **140** ne sont pas confondus.

La batterie selon l'invention est formée à partir d'un empilement **I** comprenant, selon la direction longitudinale **XX**, x rangées avec x strictement supérieur à 1, ainsi que y ligne(s) avec y supérieur ou égal à 1, de manière à former un nombre ($x*y$) de batteries.

L'empilement **I** est formé par une succession alternée de strates respectivement cathodique **SC**, **SC₁**, **SC₂**, ...**SC_n** et anodique **SA**, **SA₁**, **SA₂**, ...**SA_n**, chaque strate cathodique **SC**, **SC₁**, **SC₂**, ...**SC_n** étant destinée à former un nombre ($x*y$) d'entités cathodiques **140** alors que chaque strate anodique **SA**, **SA₁**, **SA₂**, ...**SA_n** est destinée à former un nombre ($x*y$) d'entités anodiques **110**.

Chaque strate anodique **SA**, **SA₁**, **SA₂**, ...**SA_n** de l'empilement **I** selon l'invention, comprend, selon la direction frontale **ZZ** de l'empilement **I**, parallèle à la direction frontale **ZZ** de la batterie finale **1000**, un substrat collecteur de courant anodique **10**, au moins une couche d'anode **20**, et éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte.

Chaque strate cathodique **SC**, **SC₁**, **SC₂**, ...**SC_n** de l'empilement **I** selon l'invention, comprend, selon la direction frontale **ZZ** de l'empilement **I**, parallèle à la direction frontale **ZZ** de la batterie finale **1000**, un substrat collecteur de courant cathodique **40**, au moins une couche de cathode **50**, et éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte **30** ou d'un séparateur **31** imprégné d'un électrolyte.

Chaque strate **SA**, **SA₁**, **SA₂**, ...**SA_n**, **SC**, **SC₁**, **SC₂**, ...**SC_n** comprend :

- une pluralité d'ébauches primaires **111'**, **141'**, respectivement anodique **111'** et cathodique **141'**, dont chacune est destinée à former un corps primaire **111**, **141** respectif,
- une pluralité d'ébauches secondaires **112'**, **142'**, respectivement anodique **112'** et cathodique **142'**, dont chacune est destinée à former un corps secondaire **112**, **142** respectif.

L'ébauche primaire **111'**, **141'** et l'ébauche secondaire **112'**, **142'** sont mutuellement séparées par une zone dite vide **80''**, **70''**, laquelle est destinée à former au moins un desdits espaces libres **113**, **143** de la batterie **1000**.

Selon le premier mode de réalisation de l'invention, le procédé conforme à l'invention comprend tout d'abord une étape dans laquelle on réalise un empilement **I** de strates alternées **SA**, **SA₁**, **SA₂**, ...**SA_n**, **SC**, **SC₁**, **SC₂**, ...**SC_n**. Dans ce premier mode de réalisation, chacune de ces strates est une feuille réalisée d'un seul tenant. Dans ce qui suit, ces différentes feuilles sont dénommées, selon le cas, « feuilles anodiques » ou « feuilles

cathodiques ». Comme on le verra plus en détail, chaque feuille anodique est destinée à former l'anode de plusieurs batteries, et chaque feuille cathodique est destinée à former la cathode de plusieurs batteries. Dans l'exemple illustré sur la figure 1, on a représenté deux feuilles cathodiques présentant des zones vides de faible dimension, i.e des fentes **5e**, ainsi

5 que deux feuilles anodiques présentant des zones vides de faible dimension, i.e des fentes **2e**. En pratique, cet empilement est formé par un nombre plus élevé de feuilles, typiquement compris entre dix et mille. Le nombre de feuilles cathodiques présentant des fentes **5e** est identique au nombre de feuilles anodiques présentant des fentes **2e** employées constituant l'empilement **I** de feuilles alternées de polarité opposée.

- 10 Dans un mode de réalisation avantageux, chacune de ces feuilles présente des perforations **7** à ses quatre coins de manière à ce que lorsque ces perforations **7** sont superposées, toutes les cathodes et toutes les anodes de ces feuilles sont agencées selon l'invention, comme cela sera expliqué en plus grand détail ci-après (cf. figures 1, 2, 3 et 15). Ces perforations **7** peuvent être réalisées par tout moyen approprié, notamment sur des feuilles
- 15 anodique et cathodique après fabrication, ou sur des feuilles de substrat **10,40** avant fabrication des feuilles anodique et cathodique.

Chaque feuille anodique comprend un substrat collecteur de courant anodique **10** revêtu d'une couche active d'un matériau d'anode **20**, ci-après couche d'anode **20**. Chaque feuille cathodique comprend un substrat collecteur de courant cathodique **40** revêtu d'une couche

20 active d'un matériau de cathode **50**, dénommée ci-après couche de cathode **50**. Chacune de ces couches actives peut être solide, et plus particulièrement de nature dense ou poreuse. Par ailleurs, afin d'éviter tout contact électrique entre deux couches actives de polarités opposées, une couche d'électrolyte **30** ou une couche de séparateur **31** ultérieurement imprégné d'un électrolyte est disposée sur la couche active d'au moins l'un

25 de ces substrats collecteurs de courant préalablement revêtu de la couche active, au contact de la couche active en regard. La couche d'électrolyte **30** ou la couche de séparateur **31**, peut être disposée sur la couche d'anode **20** et/ou sur la couche de cathode **50**; la couche d'électrolyte **30** ou la couche de séparateur **31** fait partie intégrante de la feuille anodique et/ou de la feuille cathodique la comprenant.

- 30 Avantageusement, les deux faces du substrat collecteur de courant anodique **10**, respectivement cathodique **40**, sont revêtues d'une couche d'anode **20**, respectivement d'une couche de cathode **50**, et optionnellement d'une couche d'électrolyte **30** ou d'une couche de séparateur **31**, disposée sur la couche d'anode **20**, respectivement sur la couche de cathode **50**. Dans ce cas, le substrat collecteur de courant anodique **10**, respectivement
- 35 cathodique **40**, sert de collecteur de courant pour deux cellules élémentaires adjacentes **100, 100'**. L'utilisation de ces substrats dans les batteries permet d'accroître le rendement

de production des batteries rechargeables à forte densité d'énergie et forte densité de puissance.

La structure mécanique de l'une des feuilles anodiques est décrite ci-après, étant entendu que les autres feuilles anodiques présentent une structure identique. Par ailleurs, comme
5 on le verra dans ce qui suit, les feuilles cathodiques possèdent une structure voisine de celle des feuilles anodiques.

Comme cela est visible sur la figure 2, la feuille anodique **2e** présentant des fentes **80** a une forme de quadrilatère, sensiblement de type rectangulaire. Elle délimite une zone centrale **4** dite perforée, dans laquelle sont ménagées des fentes **80**, i.e. des zones vides
10 dites de faible dimension, exemptes de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat collecteur de courant, qui vont être décrites ci-après. En référence au positionnement de ces fentes, une direction dite latérale ou transversale **YY** de la feuille, qui correspond à la direction latérale de ces fentes **80**, ainsi qu'une direction dite horizontale **XX** de la feuille, perpendiculaire à la direction **YY** ont été définies. La zone centrale **4** est
15 bordée par un cadre périphérique **6** qui est plein, à savoir dépourvu de fentes **80**. La fonction de ce cadre **6** est notamment d'assurer une manipulation aisée de chaque feuille.

Les fentes **80** sont réparties selon des lignes L_1 à L_y , disposées les unes au-dessous des autres, ainsi que selon des rangées R_1 à R_x prévues les unes à côté des autres. A titre d'exemples non limitatifs, dans le cadre de la fabrication de micro-batteries de type
20 composant montable en surface (ci-après CMS), les feuilles anodiques et cathodiques employées peuvent être des plaques de 100 mm x 100 mm. De manière typique, le nombre de lignes de ces feuilles est compris entre 10 et 500, alors que le nombre de rangées est compris entre 10 et 500. En fonction de la capacité souhaitée de la batterie, ces dimensions peuvent varier et le nombre de lignes et de rangées par feuilles d'anode et de cathode peut
25 être adapté en conséquence. Les dimensions des feuilles anodique et cathodique employées peuvent en d'autres termes être modulées en fonction des besoins. Comme montré en figure 2, deux lignes adjacentes peuvent être séparées par des ponts de matière **8**, dont on note l_8 la largeur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Deux rangées adjacentes peuvent être séparées par des seconds ponts de matières **9**, dont on note L_9 la
30 longueur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Ces ponts **8**, **9** de matières des feuilles anodiques et cathodiques confèrent à ces feuilles une rigidité mécanique suffisante pour qu'elles puissent être manipulées aisément.

Les fentes **70,80** sont traversantes, à savoir qu'elles débouchent sur les faces opposées respectivement supérieures et inférieures de la feuille, comme on le verra plus en détail, ci-
35 après. Ces fentes **70,80** ont, de préférence, une forme de quadrilatère, typiquement de type rectangulaire. Dans l'exemple illustré, ces fentes possèdent chacune une forme de I, ce qui

leur confère une grande simplicité d'utilisation. Ces fentes **70,80** peuvent être réalisées de manière connue en soi, directement sur le substrat collecteur de courant, avant tout dépôt de matériaux d'anode ou de cathode par gravure chimique, par électroformage, par découpe laser, par microperforation ou par étampage.

- 5 Ces fentes **70,80** peuvent aussi être réalisées :
- sur des substrats collecteurs de courant revêtus d'une couche de matériaux d'anode ou de cathode, ou
 - sur des substrats collecteurs de courant revêtus d'une couche de matériaux d'anode ou de cathode, elle-même revêtue d'une couche d'électrolyte ou d'une couche de
- 10 séparateur, i.e. sur des feuilles d'anode ou de cathode.

Lorsque les fentes **70,80** sont opérées sur de tels substrats revêtus, les fentes **70,80** peuvent être réalisées de manière connue en soi, par exemple par découpe laser (ou ablation laser), par découpe au laser femtoseconde, par microperforation ou par étampage.

- 15 Comme illustré en figure 3, chaque feuille cathodique est également pourvue de différentes lignes et rangées de fentes cathodiques **70**, prévues en même nombre que les fentes anodiques **80** de chaque feuille anodique. La feuille cathodique obtenue après la réalisation de fentes **70**, est appelée ci-après feuille cathodique présentant des fentes **5e**.

- En vue de dessus et comme illustré en figure 3, les fentes cathodiques **70** réalisées dans
- 20 l'ensemble des feuilles cathodiques **5e** sont confondues, i.e sont mutuellement superposées. De manière analogue, les fentes anodiques **80** réalisées dans l'ensemble des feuilles anodiques **2e** sont confondues, i.e. sont mutuellement superposées.

- On va maintenant décrire l'une des fentes **70,80** comme illustré en figures 3, 4 et 5, étant entendu que l'ensemble des fentes **80** de la feuille anodique est identique et que l'ensemble
- 25 des fentes **70** de la feuille cathodique est identique.

Chaque fente anodique **80** a, de préférence, une forme de quadrilatère, typiquement de type rectangulaire.

On note :

- I_{80} la largeur de l'ensemble de la fente anodique **80**, qui est typiquement comprise entre
- 30 0,25 mm et 10 mm ;
- L_{80} sa longueur qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.

- Comme le montre notamment les figures 4 et 5, la structure de chaque fente cathodique **70** est sensiblement analogue à celle de chaque fente anodique **80**, à savoir que chaque fente cathodique **70** a, de préférence, une forme de quadrilatère, typiquement de type
- 35 rectangulaire.

Les dimensions des fentes cathodiques **70** sont, de préférence, identiques à celles des fentes anodiques **80**.

On note :

- l_{70} la largeur de l'ensemble de la fente cathodique **70**, qui est typiquement comprise entre
5 0,25 mm et 10 mm ;
- L_{70} sa longueur qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.

Comme on l'a vu ci-dessus, les structures des fentes anodique **80** et cathodique **70**, sont analogues. Par ailleurs, en vue de dessus, les fentes anodiques **80** sont décalées par rapport aux fentes cathodiques **70**, selon la direction longitudinale **XX**. De la sorte, en vue
10 de dessus, les fentes anodiques **80** et cathodiques **70** ne sont pas confondues et sont distinctes les unes des autres.

L'empilement **I** comprend un agencement alterné d'au moins une feuille anodique **2e** présentant des fentes **80** et d'au moins une feuille cathodique **5e** présentant des fentes **70**.
15 On obtient ainsi au moins une cellule élémentaire **100** comprenant successivement un substrat collecteur de courant anodique **10**, une couche d'anode **20**, une couche d'un matériau d'électrolyte **30** et/ou une couche de séparateur **31** ultérieurement imprégné d'un électrolyte, une couche de cathode **50**, et un substrat collecteur de courant cathodique **40**. Cet empilement **I** est réalisé de sorte qu'en vue de dessus :

- 20 - les fentes cathodiques **70** réalisées dans l'ensemble des feuilles cathodiques **5e** sont confondues, i.e sont mutuellement superposées,
- les fentes anodiques **80** réalisées dans l'ensemble des feuilles anodiques **2e** sont confondues, i.e. sont mutuellement superposées, et
- les fentes anodiques **80** et cathodiques **70** ne sont pas confondues et sont distinctes les
25 unes des autres.

Dans le cas où ladite batterie comprend une pluralité de cellules élémentaires **100**, **100'**, **100''**, lesdites cellules élémentaires **100**, **100'**, **100''** sont disposées les unes au-dessous des autres, à savoir superposées selon une direction frontale **ZZ** au plan principal de la
30 batterie comme représenté en figure 11, de sorte que, de préférence :

- le substrat collecteur de courant anodique **10** est le substrat collecteur de courant anodique **10** de deux cellules élémentaires **100**, **100'**, **100''** adjacentes, et en ce que
- le substrat collecteur de courant cathodique **40** est le substrat collecteur de courant cathodique **40** de deux cellules élémentaires **100**, **100'**, **100''** adjacentes.

On suppose que l'empilement I, décrit ci-dessus, est soumis à des étapes visant à assurer sa stabilité mécanique globale. Ces étapes, de type connu en soi, incluent notamment le traitement thermique et/ou mécanique des différentes feuilles empilées **2e**, **5e** présentant des fentes **80**, **70**. Comme on va le voir ci-dessous, cet empilement ainsi consolidé permet

5 la formation de batteries individuelles, dont le nombre est égal au produit entre le nombre de lignes Y et le nombre de rangées X.

À cet effet, en référence à la figure 6, on a illustré trois lignes L_{n-1} à L_{n+1} , ainsi que trois rangées R_{n-1} à R_{n+1} . Dans ce qui suit, on nomme ligne de batteries une ligne, appartenant

10 à l'empilement, qui est destinée à former plusieurs batteries. Le nombre de batteries formées, pour une ligne donnée, correspond au nombre de rangées de l'empilement. Conformément à l'invention, et lorsque l'empilement I comprend plusieurs lignes aussi appelées ci-après lignes de batteries L_n , on réalise une première paire de découpes DX_n et DX'_n permettant de séparer une ligne L_n de batteries **1000** donnée vis-à-vis d'au moins une

15 autre ligne L_{n-1} , L_{n+1} de batteries formée à partir dudit empilement consolidé, comme cela est représenté en figure 7. Chaque découpe, qui s'effectue de manière traversante, à savoir qu'elle s'étend sur l'ensemble de la hauteur de l'empilement, est réalisée de manière connue en soi. À titre d'exemples non limitatifs, on citera la découpe par sciage, notamment la découpe en dés, la découpe par guillotine ou encore la découpe par laser. De plus, on a

20 illustré avec un remplissage en pointillé les zones **90** des feuilles de l'empilement, qui ne forment pas les batteries, alors que le volume des fentes est laissé en blanc.

Comme le montre notamment la figure 6, qui est une vue à plus grande échelle des fentes ménagées dans des feuilles adjacentes de la figure 3, chaque découpe DX_n, DX'_n est réalisée selon la direction frontale **ZZ** de la batterie, indifféremment selon l'un ou l'autre

25 sens. Les découpes DX_n et DX'_n sont, de préférence, mutuellement parallèles et, sont, de préférence, réalisées de manière perpendiculaire à la fois à l'alignement des fentes anodiques **80** et des fentes cathodiques **70**. Les découpes DX_n et DX'_n sont réalisées sur l'ensemble de la hauteur de l'empilement au travers des fentes anodiques **80** et des fentes cathodiques **70**, et ce de manière à limiter les chutes de matière **90**.

30

En référence à nouveau à la figure 6, chaque batterie finale est délimitée, à l'arrière et à l'avant, par la première paire de découpes DX_n et DX'_n , de préférence, mutuellement parallèles, et, à gauche et à droite par une seconde paire de découpes DY_n et DY'_n , de préférence mutuellement parallèles.

Sur cette figure 6 on a représenté de manière hachurée les batteries **1000** une fois obtenues selon la première paire de découpes **DX_n** et **DX'_n** et selon la seconde paire de découpes **DY_n** et **DY'_n**.

- 5 La figure 8 est une vue en coupe, prise selon la ligne de coupe **VIII-VIII** correspondant à la ligne de découpe **DX'_n** comme indiquée sur la figure 6, qui s'étend au travers de la ligne **L_n** de batteries. Sur la figure 8, on a représenté l'agencement alterné de deux feuilles anodiques présentant des fentes **2e** et de deux feuilles cathodiques présentant des fentes **5e**. Sur la même figure, on a référencé les fentes **70,80**, illustrées également en figure 6, ainsi que des cellules élémentaires adjacentes selon un mode de réalisation avantageux de l'invention.

- La feuille anodique **2e** présentant des zones vides de faible dimension, i.e des fentes comprend un substrat collecteur de courant anodique **10** revêtu d'une couche d'anode **20**, elle-même optionnellement revêtue d'une couche d'électrolyte **30** ou d'une couche de
15 séparateur **31** ultérieurement imprégné d'un électrolyte. Chaque feuille cathodique **5e** présentant des zones vides de faible dimension, i.e des fentes comprend un substrat collecteur de courant cathodique **40** revêtu d'une couche active d'un matériau de cathode **50**, elle-même optionnellement revêtue d'une couche d'électrolyte **30** ou d'une couche de séparateur **31** ultérieurement imprégné d'un électrolyte. Afin d'éviter tout contact électrique
20 entre deux couches actives de polarité opposée, i.e. entre la couche d'anode **20** et la couche de cathode **50**, il est disposé au moins une couche d'électrolyte **30** et/ou au moins une couche de séparateur **31** imprégné ou ultérieurement imprégné d'un électrolyte. Sur la figure 8 est représentée une cellule élémentaire **100** comprenant successivement un substrat collecteur de courant anodique **10**, une couche d'anode **20**, au moins une couche
25 d'un matériau d'électrolyte **30** ou une couche de séparateur **31** imprégné ou ultérieurement imprégné d'un électrolyte, une couche de cathode **50**, et un substrat collecteur de courant cathodique **40**.

- Avantageusement, le substrat collecteur de courant anodique **10** d'une cellule élémentaire **100'** peut être accolé au substrat collecteur de courant anodique **10** de la cellule
30 élémentaire adjacente **100''**. De manière analogue, les substrats collecteurs de courant cathodique de deux cellules élémentaires adjacentes **100, 100'** peuvent être accolées l'un à l'autre.

- Dans un mode de réalisation avantageux, le substrat collecteur de courant anodique **10**, respectivement cathodique **40**, peut servir de collecteur de courant pour deux cellules
35 élémentaires adjacentes, comme cela est notamment illustré en figure 8. Comme explicité précédemment, les deux faces du substrat collecteur de courant anodique **10**,

respectivement cathodique **40**, sont revêtues d'une couche d'anode **20**, respectivement d'une couche de cathode **50**, et optionnellement revêtues d'une couche d'électrolyte **30** ou d'une couche de séparateur **31**, disposée sur la couche d'anode **20**, respectivement sur la couche de cathode **50**. Ceci permet d'accroître le rendement de production des batteries.

5 Comme représenté en figure 8, chaque feuille anodique présentant des fentes **2e** et chaque feuille cathodique présentant des fentes **5e** sont agencées de manière à ce qu'en vue de dessus :

- les fentes cathodiques **70** réalisées dans l'ensemble des feuilles cathodiques **5e** sont confondues, i.e sont mutuellement superposées,
- 10 - les fentes anodiques **80** réalisées dans l'ensemble des feuilles anodiques **2e** sont confondues, i.e. sont mutuellement superposées, et
- les fentes anodiques **80** et cathodiques **70** ne sont pas confondues et sont distinctes les unes des autres.

15 Sur la figure 9, on a représenté l'agencement alterné de deux feuilles anodiques présentant des fentes **2e** et de deux feuilles cathodiques présentant des fentes **5e**. Sur la même figure, on a référencé des lignes de découpes **DY_n**, **DY'_n** permettant de séparer une batterie **1000** vis à vis des autres batteries d'une ligne **L_n** de batteries, la longueur d'une batterie **L₁₀₀₀**, les fentes **70,80**, illustrées également en figure 6, ainsi que des cellules élémentaires adjacentes selon un mode de réalisation avantageux de l'invention. Sur la figure 9, tout

20 comme sur la figure 8, on note que la seconde paire de découpes **DY_n**, **DY'_n** est réalisée à la fois au travers des entités anodiques **110** et des entités cathodiques **140**, à savoir :

- à une distance **L₁₄₂** des fentes cathodiques **70** de manière à avoir pour chaque entité cathodique **140** de la batterie **1000** un corps primaire **141** séparé d'un corps
- 25 secondaire **142** par un espace libre **143**, **70** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment de cathode, et
- à une distance **L₁₁₂** des fentes anodiques **80** de manière à avoir pour chaque entité anodique **110** de la batterie **1000** un corps primaire **111** séparé d'un corps
- 30 secondaire **112** par un espace libre **113**, **80** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment d'anode.

Cette caractéristique est particulièrement avantageuse, puisque cela permet d'améliorer la qualité de la découpe au regard de l'art antérieur et d'éviter la présence de court-circuit au

35 niveau des faces longitudinales **F6,F4** de la batterie, d'éviter la présence de courant de

fuite, et de faciliter les prises de contact électrique au niveau des zones de connexion anodiques **1002** et cathodique **1006**.

En référence à la figure 9, et pour chaque batterie **1000** unitaire, on note :

- **70** la fente cathodique, correspondant à l'espace libre **143** existant entre le corps primaire **141** et le corps secondaire **142** de l'entité cathodique **140** ;
 - **L₇₀**, la longueur de l'ensemble de la fente cathodique **70** qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm, cette longueur **L₇₀** correspondant à la longueur **L₁₄₃** de l'espace libre **143** existant entre le corps primaire **141** et le corps secondaire **142** de l'entité cathodique **140** ;
 - **L₁₄₂**, la longueur du corps secondaire **142** de l'entité cathodique **140**, qui est typiquement comprise entre XXXX mm et XXXXX mm ;
 - **80** la fente anodique, correspondant à l'espace libre **113** entre le corps primaire **111** et le corps secondaire **112** de l'entité anodique **110** ;
 - **L₈₀**, la longueur de l'ensemble de la fente anodique **80** qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm, cette longueur **L₈₀** correspondant à la longueur **L₁₁₃** de l'espace libre **113** existant entre le corps primaire **111** et le corps secondaire **112** de l'entité anodique **110** ;
 - **L₁₁₂**, la longueur du corps secondaire **112** de l'entité anodique **110**, qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm .
- Avantageusement, après la réalisation de l'empilement des feuilles anodiques présentant des fentes **2e** et cathodiques présentant des fentes **5e**, on consolide l'empilement **I** par traitement thermique et/ou mécanique (ce traitement pouvant être un traitement de thermocompression, comprenant l'application simultanée d'une pression et d'une température élevée). Le traitement thermique de l'empilement permettant l'assemblage de la batterie est avantageusement réalisé à une température comprise entre 50°C et 500°C, de préférence à une température inférieure à 350 °C. La compression mécanique de l'empilement des feuilles anodiques présentant des fentes **2e** et des feuilles cathodiques présentant des fentes **5e** à assembler est réalisée à une pression comprise entre 10 MPa et 100 MPa, de préférence entre 20 MPa et 50 MPa.

30

On vient de décrire la réalisation de l'empilement consolidé des feuilles qui constituent la batterie. On peut ensuite, lorsque l'empilement **I** comprend plusieurs lignes aussi appelées ci-après lignes de batteries **L_n**, réaliser une première paire de découpes dites découpes accessoires **DX_n** et **DX'_n** permettant de séparer une ligne **L_n** de batteries **1000** donnée vis-à-vis d'au moins une autre ligne **L_{n-1}**, **L_{n+1}** de batteries formée à partir dudit empilement

35

consolidé. Chaque découpe, qui s'effectue de manière traversante, à savoir qu'elle s'étend sur l'ensemble de la hauteur de l'empilement, est réalisée de manière connue en soi, comme indiqué précédemment.

- 5 Lorsqu'un séparateur est employé comme matrice hôte d'un électrolyte, on peut imprégner l'empilement consolidé précédemment obtenu ou la ligne L_n de batteries **1000** lorsque l'empilement I initial comprend plusieurs lignes de batteries L_n et qu'une première paire de coupes (DX_n , DX'_n) a été réalisée afin de séparer la ligne (L_n) de batteries (**1000**) donnée vis-à-vis d'au moins une autre ligne (L_{n-1} , L_{n+1}) de batteries (**1000**) formée à partir dudit
- 10 empilement consolidé. L'imprégnation de l'empilement consolidé précédemment obtenu ou de la ligne L_n de batteries **1000** peut être réalisée, par une phase porteuse d'ions de lithium telle que des électrolytes liquides ou un liquide ionique contenant des sels de lithium, de sorte que ledit séparateur (**31**) soit imprégné par un électrolyte.
- D'une manière générale, dans le cadre de la présente invention on peut imprégner le
- 15 séparateur, mais aussi les électrodes. La structure peut également comporter une combinaison d'électrodes solides et/ou mésoporeuses imprégnées et/ou peut comporter un électrolyte solide et/ou un séparateur imprégné.

- Après la réalisation d'un empilement I consolidé ou d'une ligne L_n de batteries **1000**,
- 20 éventuellement imprégné(e) par une phase porteuse d'ions de lithium, on encapsule cet empilement ou cette ligne L_n de batteries **1000** en déposant un système d'encapsulation **95** pour assurer la protection de la cellule de la batterie vis-à-vis de l'atmosphère, comme cela est représenté en figure 10.

- 25 La ligne de batteries L_n ainsi encapsulée présente six faces, à savoir :
- deux faces dites frontales **FF1**, **FF2** mutuellement opposées, dans l'exemple mutuellement parallèles, globalement parallèles aux entités anodiques, globalement parallèles aux entités cathodiques, globalement parallèles au(x) substrat(s) collecteur de courant anodique **10**, au(x) couche(s) d'anode **20**, au(x)
 - 30 couche(s) d'un matériau d'électrolyte **30** ou au(x) couche(s) de séparateur imprégné d'un électrolyte **31**, au(x) couche(s) de cathode **50**, et au(x) substrat(s) collecteur de courant cathodique **40** ;
 - deux faces dites latérales **FF3**, **FF5** mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles et parallèles aux faces latérales **F3**, **F5** de la batterie **1000** ;

- et deux faces dites longitudinales **FF4, FF6**, mutuellement opposées, en particulier mutuellement parallèles et parallèles aux faces longitudinales **F4,F6** de la batterie **1000**.

Le système d'encapsulation doit avantageusement être stable chimiquement, résister à une température élevée et être imperméable à l'atmosphère pour jouer sa fonction de couche barrière.

L'empilement peut être recouvert d'un système d'encapsulation comprenant :

- optionnellement une première couche de recouvrement dense et isolante, de préférence choisi parmi le parylène, le parylène de type F, le polyimide, les résines époxy, le silicone, le polyamide, la silice sol-gel, la silice organique et/ou un mélange de ceux-ci, déposée à la périphérie externe de l'empilement I de feuilles anodique **2e** et cathodique **5e**, et, de préférence, aussi dans les espaces libres **113,143** présents entre les corps primaire **111,141** et secondaire **112,142** de chaque entité anodique **110** et chaque entité cathodique **140**; et
 - optionnellement une deuxième couche de recouvrement composée d'une matière électriquement isolante, déposée par dépôt de couches atomiques à la périphérie externe de l'empilement I de feuilles anodique **2e** et cathodique **5e**, et, de préférence, aussi dans les espaces libres **113,143** présents entre les corps primaire **111,141** et secondaire **112,142** de chaque entité anodique **110** et chaque entité cathodique **140**, ou sur ladite première couche de recouvrement ; et
 - de manière particulièrement avantageuse, au moins une troisième couche de recouvrement étanche, de préférence ayant un coefficient WVTR inférieur à 10^{-5} g/m².d, cette troisième couche de recouvrement étant composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion, de préférence d'un verre dont le point de fusion est inférieur à 600°C, déposée à la périphérie externe de l'empilement I de feuilles anodique **2e** et cathodique **5e**, et, de préférence, aussi dans les espaces libres **113,143** présents entre les corps primaire **111,141** et secondaire **112,142** de chaque entité anodique **110** et chaque entité cathodique **140** ou sur ladite première couche de recouvrement,
- étant entendu qu'une séquence d'au moins une deuxième couche de recouvrement et d'au moins une troisième couche de recouvrement peut être répétée z fois avec $z \geq 1$ et déposée à la périphérie externe d'au moins la troisième couche de recouvrement, et que la dernière couche du système d'encapsulation est une couche de recouvrement étanche, de préférence ayant un coefficient WVTR inférieur à 10^{-5} g/m².d qui est composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion.

Cette séquence peut être répétée z fois avec $z \geq 1$. Elle présente un effet barrière, qui est d'autant plus important que la valeur de z est élevée.

On obtient ainsi une encapsulation rigide et étanche, qui empêche notamment le passage de la vapeur d'eau au niveau de l'interface entre le système d'encapsulation et les organes de contact (cf. interface **AA** représentée en figure 13).

Typiquement, la première couche de recouvrement, qui est optionnelle, est sélectionnée dans le groupe formé par : les silicones (déposés par exemple par imprégnation ou par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma à partir d'hexaméthylidisiloxane (HMDSO)), les résines époxy, le polyimide, le polyamide, le poly-para-xylylène (appelé aussi poly(p-xylylène, mais plus connu sous le terme parylène), et/ou un mélange de ceux-ci. Lorsqu'une première couche de recouvrement est déposée, elle permet de protéger les éléments sensibles de la batterie de son environnement. L'épaisseur de ladite première couche de recouvrement est, de préférence, comprise entre 0,5 μm et 3 μm .

Cette première couche de recouvrement est utile surtout lorsque les couches d'électrolytes et d'électrodes de la batterie présentent des porosités : elle agit comme une couche de planarisation, qui présente également un effet de barrière. A titre d'exemple, cette première couche est capable de tapisser l'ensemble des surfaces accessibles de l'empilement ou de la ligne L_n de batteries **1000**, notamment e la périphérie externe de l'empilement ou de la ligne L_n de batteries **1000**, pour fermer l'accès des microporosités débouchantes présentes à la surface de l'empilement I ou de la ligne L_n de batteries **1000**.

Dans cette première couche de recouvrement, différentes variantes de parylène peuvent être utilisées. Elle peut être en parylène de type C, en parylène de type D, en parylène de type N (CAS 1633-22-3), en parylène de type F, ou en un mélange de parylène de type C, D, N et/ou F. Le parylène est un matériau diélectrique, transparent, semi cristallin, qui présente une grande stabilité thermodynamique, une excellente résistance aux solvants ainsi qu'une très faible perméabilité. Le parylène a également des propriétés barrières. On préfère dans le cadre de la présente invention le parylène de type F.

Cette première couche de recouvrement est avantageusement obtenue à partir de la condensation de monomères gazeux déposés par dépôt chimique en phase vapeur (CVD, Chemical Vapor Deposition) sur les surfaces de l'empilement de la batterie, ce qui permet d'avoir un recouvrement conforme, mince et uniforme de l'ensemble des surfaces accessibles de l'empilement. Cette première couche de recouvrement est avantageusement rigide ; elle ne peut pas être considérée comme une surface souple.

La deuxième couche de recouvrement, qui est également optionnelle, est composée d'une matière électriquement isolante, de préférence inorganique. Elle est déposée par dépôt de couches atomiques (en anglais « Atomic Layer Deposition », ALD), par PECVD, par

HDPCVD (en anglais « High Density Plasma Chemical Vapor Deposition ») ou par ICPCVD (« Inductively Coupled Plasma Chemical Vapour Deposition » en anglais), de manière à obtenir un recouvrement conformal de l'ensemble des surfaces accessibles de l'empilement préalablement recouvert de la première couche de recouvrement. Les couches déposées

5 par ALD sont très fragiles mécaniquement et nécessitent une surface d'appui rigide pour assurer leur rôle protecteur. Le dépôt d'une couche fragile sur une surface souple conduirait à la formation de fissures, engendrant une perte d'intégrité de cette couche de protection. Par ailleurs, la croissance de la couche déposée par ALD est influencée par la nature du substrat. Une couche déposée par ALD sur un substrat présentant des zones de natures

10 chimiques différentes aura une croissance inhomogène, pouvant engendrer une perte d'intégrité de cette couche de protection. Pour cette raison il est préférable que cette deuxième couche optionnelle, si elle est présente, prenne appui sur ladite première couche optionnelle, ce qui assure un substrat de croissance chimiquement homogène.

Les techniques de dépôt par ALD sont particulièrement bien adaptées pour recouvrir des

15 surfaces présentant une forte rugosité de manière totalement étanche et conforme. Elles permettent de réaliser des couches conformales, exemptes de défauts, tels que des trous (couches dits « pinhole free », i.e. exempts de trous) et représentent de très bonnes barrières. Leur coefficient WVTR est extrêmement faible. L'épaisseur de cette deuxième couche est avantageusement choisie en fonction du niveau d'étanchéité aux gaz souhaité,

20 i.e du coefficient WVTR souhaité et dépend de la technique de dépôt utilisée, notamment parmi l'ALD, le PECVD, le HDPCVD et le ICPCVD.

Ladite deuxième couche de recouvrement peut être en matériau céramique, en matériau vitreux ou en matériau vitrocéramique, par exemple sous forme d'oxyde, de type Al_2O_3 , de Ta_2O_5 , de nitrure, de phosphates, d'oxynitrure, ou de siloxane. Cette deuxième couche de

25 recouvrement présente, de préférence, une épaisseur comprise 10 nm et 5 μm , de préférence entre 10 nm et 50 nm.

Cette deuxième couche de recouvrement déposée par ALD, par PECVD, par HDPCVD ou par ICPCVD sur la première couche de recouvrement permet d'une part, d'assurer l'étanchéité de la structure, i.e. d'empêcher la migration de l'eau à l'intérieur de l'objet et

30 d'autre part de protéger la première couche de recouvrement, de préférence de parylène de type F, de l'atmosphère, notamment de l'air et de l'humidité, des expositions thermiques afin d'éviter sa dégradation. Cette deuxième couche de recouvrement améliore ainsi la durée de vie de la batterie encapsulée.

Ladite deuxième couche de recouvrement peut aussi être déposée directement sur

35 l'empilement de feuilles anodiques et cathodique, c'est-à-dire dans un cas où ladite première couche de recouvrement n'a pas été déposée.

La troisième couche de recouvrement doit être étanche et présente de préférence un coefficient WVTR inférieur à 10^{-5} g/m².d. Cette troisième couche de recouvrement est composée d'un matériau céramique et/ou d'un verre à bas point de fusion, de préférence d'un verre dont le point de fusion est inférieur à 600°C, déposée à la périphérie externe de l'empilement de feuilles anodique et cathodique ou de la première couche de recouvrement.

Le matériau céramique et/ou verre employé dans cette troisième couche est, avantageusement choisi parmi :

- un verre à bas point de fusion (typiquement < 600°C), de préférence $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$; $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$, $\text{ZnO-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$, $\text{TeO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$, PbO-SiO_2 ,
- des oxydes, des nitrures, des oxynitrures, du Si_xN_y , SiO_2 , SiON du Silicium amorphe ou du SiC .

Ces verres peuvent être déposés par moulage ou par dip-coating.

Les matériaux céramiques sont avantageusement déposés par PECVD ou préférentiellement par HDPCVD ou par ICP CVD à basse température ; ces procédés permettent de déposer une couche ayant de bonnes propriétés d'étanchéité.

Comme cela est notamment représenté en figure 10, l'empilement ainsi encapsulé ou la ligne L_n de batterie **1000** ainsi encapsulée, est ensuite découpé(e) par tout moyen approprié selon une seconde paire de découpe DY_n et DY'_n de manière à obtenir des batteries unitaires et à mettre à nu les zones de connexions anodiques **1002** et cathodiques **1006** de chaque batterie **1000** unitaire. Avantageusement et comme représenté sur la figure 10, la ligne L_n de batteries **100** est découpée selon les paires de découpe DY_{n-1} et DY'_{n-1} , DY_n et DY'_n , DY_{n+1} et DY'_{n+1} de manière à obtenir des batteries **1000** unitaires. De la sorte, les ligne de découpes DY'_{n-1} et DY_n sont confondues, tout comme les lignes de découpes DY'_n et DY_{n+1} . Ceci permet de réduire le nombre de découpes effectives, et ainsi d'améliorer le rendement de production des batteries.

Selon l'invention, et de manière particulièrement avantageuse, la seconde paire de découpes DY_n , DY'_n comme représenté en figure 11, est réalisée à la fois au travers des entités anodiques **110** et des entités cathodiques **140**, à savoir :

- à une distance L_{142} des fentes cathodiques **70** de manière à avoir pour chaque entité cathodique **140** de la batterie **1000** un corps primaire **141** séparé d'un corps secondaire **142** par un espace libre **143**, **70** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment de cathode, et
- à une distance L_{112} des fentes anodiques **80** de manière à avoir pour chaque entité anodique **110** de la batterie **1000** un corps primaire **111** séparé d'un corps

secondaire **112** par un espace libre **113**, **80** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment d'anode.

Les figures 11 et 12 représentent une batterie avec arrachement conforme à l'invention.

- 5 Des organes de contact **97,97', 97''** (contacts électriques) sont ajoutés au niveau où les zones de connexions cathodiques **1006**, respectivement anodiques **1002** sont apparentes. Ces zones de contact sont, de préférence, disposées sur des côtés opposés de l'empilement de la batterie pour collecter le courant (collecteurs de courant latéraux). Les organes de contact **97,97', 97''** sont disposés sur au moins la zone de connexion cathodique **1006** et sur au moins la zone de connexion anodique **1002**, de préférence sur
10 la face de l'empilement encapsulé et découpé comprenant au moins la zone de connexion cathodique **1006** et sur la face de l'empilement enrobé et découpé comprenant au moins la zone de connexion anodique **1002** (cf. figure 13).
Ainsi, on recouvre au moins la zone de connexion anodique **1002**, de préférence au moins
15 la première face longitudinale **F6** comprenant au moins la zone de connexion anodique **1002**, et plus préférentiellement la première face longitudinale **F6** comprenant au moins la zone de connexion anodique **1002** ainsi que les extrémités **97'a** des faces adjacentes **F1,F2,F3,F5** à cette première face longitudinale **F6**, par un organe de contact anodique **97'**, apte à assurer le contact électrique entre l'empilement **I** et un élément conducteur externe.
20 Par ailleurs, on recouvre au moins la zone de connexion cathodique **1006**, de préférence au moins la seconde face longitudinale **F4** comprenant au moins la zone de connexion cathodique **1006**, et plus préférentiellement la seconde face longitudinale **F4** comprenant au moins la zone de connexion cathodique **1006** ainsi que les extrémités **97'a** des faces adjacentes **F1,F2,F3,F5** à cette seconde face longitudinale **F4**, par un organe de contact cathodique **97''**, apte à assurer le contact électrique entre l'empilement **I** et un élément
25 conducteur externe (cf. figure 13).

- De préférence, aux abords des zones de connexions cathodique **1006** et anodique **1002** comme indiqué précédemment, les organes de contact **97,97', 97''** sont constitués, d'un
30 empilement de couches de connexion électrique comprenant successivement une première couche de connexion électrique comprenant un matériau chargé en particules électriquement conductrices, de préférence une résine polymérique et/ou un matériau obtenu par un procédé sol-gel, chargé en particules électriquement conductrices et encore plus préférentiellement une résine polymérique chargée en graphite, et une deuxième
35 couche constituée d'une feuille métallique disposée sur la première couche de connexion électrique.

La -première couche de connexion électrique permet de fixer la deuxième couche de connexion électrique subséquente tout en procurant de la « souplesse » à la connectique sans rompre le contact électrique lorsque le circuit électrique est soumis à des contraintes thermiques et/ou vibratoires.

- 5 La deuxième couche de connexion électrique est, avantageusement, une feuille métallique. Cette deuxième couche de connexion électrique est utilisée pour protéger durablement de l'humidité les batteries. D'une manière générale, pour une épaisseur donnée de matériau, les métaux permettent de réaliser des films très étanches, plus étanches que ceux à base de céramiques et encore plus étanches que ceux à base de polymères qui sont
10 généralement peu hermétiques au passage de molécules d'eau. Elle permet d'augmenter la durée de vie calendaire de la batterie en réduisant le coefficient WVTR au niveau des organes de contact.

- Avantageusement, une troisième couche de connexion électrique comprenant une encre conductrice peut être déposée sur la deuxième couche de connexion électrique ; elle sert
15 à réduire le coefficient WVTR, ce qui augmente la durée de vie de la batterie.

- Les organes de contact **97,97', 97''** permettent de reprendre les connexions électriques alternativement positives et négatives sur chacune des extrémités. Ces organes de contact **97,97', 97''** permettent de réaliser les connexions électriques en parallèle entre les différents éléments de batterie. Pour cela, seules les connexions cathodiques sont
20 disponibles sur une extrémité, et les connexions anodiques sont disponibles sur une autre extrémité.

- La demande WO 2016/001584 décrit des empilements de plusieurs cellules élémentaires, constituées de feuilles anodiques et cathodiques empilées de manière alternée et décalée
25 latéralement (cf. figure 14), encapsulés dans un système d'encapsulation **2095** pour assurer la protection de la cellule de la batterie **2000** vis-à-vis de l'atmosphère. La découpe de ces empilements encapsulés permettant d'obtenir des batteries unitaires, avec des zones de connexions anodique **2002** et cathodique **2006** à nu, est réalisée selon un plan de coupe traversant une succession alternée d'électrode et de système d'encapsulation.
- 30 De par la différence de densité existant entre l'électrode et le système d'encapsulation de la batterie de l'art antérieur, la découpe réalisée selon ce plan de coupe induit un risque d'arrachement du système d'encapsulation aux abords du plan de coupe, et ainsi la création de courts-circuits. Dans la demande WO 2016/001584, lors de l'encapsulation, la couche d'encapsulation remplit les interstices de l'empilement des feuilles portant des découpes en
35 forme de U. Cette couche d'encapsulation introduite au niveau de ces interstices est

épaisse et n'adhère pas très bien à l'empilement induisant ce risque d'arrachement du système d'encapsulation **2095** lors de la découpe ultérieure.

Selon la présente invention, ce risque est supprimé avec l'emploi de feuilles selon l'invention portant des fentes où, en vue de dessus :

- 5 - les fentes cathodiques **70** (qui vont former les espaces libres **143, 70** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment de cathode) réalisées dans l'ensemble des feuilles cathodiques **5e** sont confondues, i.e sont mutuellement superposées,
- 10 - les fentes anodiques **80** (qui vont former les espaces libres **113, 80** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment d'anode) réalisées dans l'ensemble des feuilles anodiques **2e** sont confondues, i.e. sont mutuellement superposées, et
- 15 - les fentes anodiques **80** et cathodiques **70** ne sont pas confondues et sont distinctes les unes des autres.
- 15 De la sorte, chaque entité cathodique **140** de la batterie **1000** comprend un corps primaire **141** séparé d'un corps secondaire **142** par un espace libre **143, 70** de tout matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment de cathode. De manière analogue, chaque entité anodique **110** de la batterie **1000** comprend un corps primaire **111** séparé d'un corps secondaire **112** par un espace libre **113, 80** de tout
- 20 matériau d'électrolyte, de séparateur, de substrat collecteur de courant et d'électrode, notamment d'anode (cf. figure 11).

La structure mécanique thermopressée de l'empilement est extrêmement rigide aux abords des découpes selon les lignes de découpe DY'_n et DY_n , du fait de la superposition alternée

25 de feuilles cathodique et anodique. L'utilisation d'une telle structure rigide, avec l'emploi de feuilles portant des fentes, permet de réduire le nombre de défauts lors des découpes, d'accroître la vitesse de découpe, d'améliorer le rendement de production des batteries tout en minimisant les chutes de matières.

Selon l'invention, les découpes DY'_n et DY_n sont effectuées au travers des feuilles

30 anodiques présentant des fentes **2e** et des feuilles cathodiques présentant des fentes **5e** de densité comparable induisant une découpe propre de meilleure qualité. De plus la présence d'un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant empêche tout risque de court-circuit.

Comme représenté en figure 11, chaque entité cathodique **140** comprend un corps primaire

35 **141**, un corps secondaire **142**, ainsi qu'un espace **143** libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant. Ce dernier, dont la longueur L_{70} , L_{143}

correspond à celle de la fente cathodique **70** décrite ci-dessus, s'étend selon une direction latérale **YY** sur toute la largeur de la batterie **1000**. De manière analogue, chaque entité anodique **110** comprend un corps principal **111**, un corps secondaire **112** ainsi qu'un espace **113** libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant.

- 5 Ce dernier, dont la longueur L_{80} , L_{113} correspond à celle de la fente anodique **80** décrite ci-dessus, s'étend selon une direction latérale **YY** sur toute la largeur de la batterie **1000**.

Les zones de connexion anodique **1002** et les zones de connexion cathodique **1006** sont de préférence latéralement opposées comme illustré en figures 11 et 12.

- 10 La structure singulière de la batterie selon l'invention permet d'éviter la présence de court-circuit au niveau des faces longitudinales **F4, F6** de la batterie, d'éviter la présence de courant de fuite et de faciliter les prises de contact électrique au niveau des zones de connexion anodiques **1002** et cathodique **1006**.
- 15 Les batteries selon l'invention peuvent être réalisées selon différentes variantes. Les figures 15 et 16 illustrent une variante du premier mode de réalisation de l'invention. La seule différence, entre la variante de ces figures 15 et 16 et la variante principale ci-dessus, réside dans le fait que les feuilles anodiques et cathodiques ne présentent plus des fentes **70, 80** (zones vides dites de faible dimension, exemptes de tout matériau d'électrode, d'électrolyte
- 20 et de substrat collecteur de courant) mais des entailles **70', 80'**. Ces entailles forment. des zones vides dites de grande dimension, exemptes de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat collecteur de courant. Dans cette variante, les entailles anodiques **80'**, respectivement les entailles cathodiques **70'**, sont réparties les unes à côté des autres selon des rangées R_1 à R_n . Ces entailles anodiques **80'**, respectivement
- 25 cathodiques **70'**, ont, de préférence, une forme de quadrilatère, typiquement de type rectangulaire. Dans l'exemple illustré, ces entailles présentent également une forme de I, comme les fentes du premier mode de réalisation. Cependant, comme cela ressort de ce qui précède, ces entailles **70', 80'** sont nettement plus allongées que les fentes, à savoir qu'elles présentent une dimension longitudinale bien supérieure à celle de ces fentes. Par
- 30 conséquent, la variante des figures 15 et 16 diffère de la variante principale ci-dessus, en ce que à la fois chaque entaille anodique **80'** et chaque entaille cathodique **70'** est commune à l'ensemble des lignes

L_1 à L_y , disposées les unes au-dessous des autres.

De la sorte, la fente 70,80 positionnée en ligne L_n est confondue avec au moins l'une des fentes adjacentes positionnée en ligne L_{n-1} et/ou L_{n+1} . Dans ce cas et comme illustré en figure 15, les deux lignes adjacentes ne sont pas séparées par des ponts de matières.

Deux rangées adjacentes sont en revanche séparées par des ponts de matière 9 qui confèrent aux feuilles d'anode et de cathode une rigidité mécanique suffisante pour qu'elles puissent être manipulées aisément.

On suppose que l'empilement des feuilles d'anode et de cathode, décrit ci-dessus, est soumis à des étapes visant à assurer sa stabilité mécanique globale. Ces étapes, de type connu en soi, incluent notamment le traitement thermique et/ou la compression mécanique de l'empilement des différentes feuilles, comme cela a été décrit précédemment. Comme indiqué précédemment, cet empilement permet la formation de batteries individuelles, dont le nombre est égal au produit entre le nombre de lignes Y et le nombre de rangées X.

À cet effet, en référence à la figure 16, on a illustré trois lignes L_{n-1} à L_{n+1} , ainsi que trois rangées R_{n-1} à R_{n+1} . Conformément à l'invention, on réalise une première paire de découpes DX_n et DX'_n par ligne. Chaque découpe, qui s'effectue de manière traversante, à savoir qu'elle s'étend sur l'ensemble de la hauteur de l'empilement, est réalisée de manière connue en soi, comme indiqué précédemment.

Les étapes ultérieures d'imprégnation, d'encapsulation, de découpes selon les lignes de découpes DY_n et DY'_n , de dépôt des organes de contact sur au moins les zones de connexion anodique et cathodique sont, avantageusement, réalisées comme précédemment. Le fait d'utiliser des entailles 70',80' selon la première variante à la place de fentes 70,80 permet de réduire les chutes de matière 90 et ainsi d'optimiser la production de batterie 1000 unitaire. La batterie 1000 obtenue selon la première variante de l'invention est en tout point identique à celle obtenue selon l'invention quand bien même l'agencement des entailles 70',80' est différent.

Les figures 17 et 18 illustrent un second mode de réalisation de l'invention de l'invention. La différence principale, entre ce second mode et le premier mode décrit ci-dessus, réside dans la conformation des strates de l'empilement. Comme on a vu ci-dessus, le premier mode fait appel à des strates formées chacune par des feuilles d'un seul tenant. En revanche, dans le second mode, chaque strate est formée par une succession de bandes, disposées les unes à côté des autres selon un plan respectivement anodique PA et cathodique PC, qui correspond au plan formé par une feuille du premier mode de réalisation.

Sur la figure 18, seules les quatre premières strates sont représentées, à savoir les deux premières strates anodiques SA_1 et SA_2 , ainsi que les 2 premières strates cathodiques SC_1 et SC_2 . Chaque strate anodique est formée par une succession de bandes anodiques A_1 à A_x et A'_1 à A'_x , dont seules les 4 premières A_1 à A_4 et A'_1 à A'_4 sont représentées sur les figures 17 et 18, alors que chaque strate cathodique est formée par une succession de bandes cathodiques C_1 à C_x et C'_1 à C'_x , dont seules les 4 premières C_1 à C_4 et C'_1 à C'_4 sont représentées sur les figures. Pour chaque strate, aussi bien anodique et cathodique, le nombre de bandes correspond au nombre de rangées. Par ailleurs, pour chaque strate, les bords latéraux en regard LA et LC des bandes adjacentes définissent des espaces libres respectivement 80'' et 70''.

Ces bandes anodiques A_1, A_2, A_3, A_4 , respectivement cathodiques C_1, C_2, C_3, C_4 , ont, de préférence, une forme de quadrilatère, typiquement de type rectangulaire.

Ces bandes anodiques, respectivement cathodiques présentent la même structure chimique que les feuilles anodiques, respectivement cathodiques employées selon l'invention ou selon la première variante de l'invention.

Ce second mode de réalisation diffère par conséquent, en d'autres termes, du premier mode essentiellement en ce que les différentes bandes, respectivement anodique et cathodique, sont indépendantes les unes des autres.

De la sorte, chaque bande anodique A_1, A_2, A_3, A_4 , respectivement cathodique C_1, C_2, C_3, C_4 n'est pas reliée à un cadre périphérique plein de manière à former une feuille anodique, respectivement cathodique comme indiqué précédemment.

Selon le second mode de réalisation de l'invention, pour une rangée Rx donnée, la bande anodique A_1, A_2, A_3, A_4 est commune à l'ensemble des lignes L_1 à L_y , disposées les unes au-dessous des autres, et la bande cathodique C_1, C_2, C_3, C_4 est commune à l'ensemble des lignes L_1 à L_y , disposées les unes au-dessous des autres.

Selon le second mode de réalisation de l'invention et comme illustré en figure 18, les bandes anodiques A_1, A_2, A_3, A_4 , alignées selon le plan anodique PA parallèle au plan principal de la batterie, les bandes cathodiques C_1, C_2, C_3, C_4 alignées selon le plan cathodique PC parallèle au plan principal de la batterie, les espaces libres 80'' ménagés entre deux bandes anodiques voisines A_1, A_2 selon une direction longitudinale et les

espaces libres 70'' ménagés entre deux bandes cathodiques voisines C_1, C_2 selon une direction longitudinale sont disposés de manière à ce que :

- chaque bande anodique A_n positionnée en rangée R_n soit en partie utilisée comme corps secondaire d'une batterie 1000 positionnée en rangée R_{n-1} , et en partie utilisée comme
- 5 corps primaire d'une batterie 1000 positionnée en rangée R_n , et
- chaque bande cathodique C_{n+1} soit en partie utilisée comme corps secondaire d'une batterie 1000 positionnée en rangée R_{n+1} , et en partie utilisée comme corps primaire d'une batterie 1000 positionnée en rangée R_n .

- 10 On suppose que l'empilement des bandes anodique et cathodique, décrit ci-dessus, est soumis à des étapes visant à assurer sa stabilité mécanique globale. Ces étapes, de type connu en soi, incluent notamment le traitement thermique et/ou la compression mécanique de l'empilement des différentes bandes, comme cela a été décrit précédemment. Comme
- 15 le nombre est égal au produit entre le nombre de lignes Y et le nombre de rangées X.

À cet effet, en référence à la figure 17, on a illustré trois lignes L_{n-1} à L_{n+1} , ainsi que trois rangées R_{n-1} à R_{n+1} . Conformément à l'invention, on réalise une première paire de découpes DX_n et DX'_n par ligne. Chaque découpe, qui s'effectue de manière traversante, à savoir qu'elle s'étend sur l'ensemble de la hauteur de l'empilement, est réalisée de manière

20 connue en soi, comme indiqué précédemment.

Les étapes ultérieures d'imprégnation, d'encapsulation, de découpes selon les lignes de découpes DY_n et DY'_n comme illustré en figure 18, de dépôt des organes de contact sur au moins les zones de connexion anodique et cathodique sont, avantageusement, réalisées comme indiqué précédemment. Le fait d'utiliser des bandes anodiques A_1, A_2, A_3, A_4 et

- 25 cathodiques C_1, C_2, C_3, C_4 selon la seconde variante permet de réduire les chutes de matière 90 et ainsi d'optimiser la production de batteries 1000 unitaires. La batterie 1000 obtenue selon le second mode de réalisation de l'invention est en tout point identique à celle obtenue selon le premier mode de réalisation à partir de feuilles présentant des zones vides de faible ou de grande dimension, quand bien même l'agencement des bandes anodiques $A_1, A_2,$
- 30 A_3, A_4 et cathodiques C_1, C_2, C_3, C_4 est différent.

La figure 19 illustre une variante du mode de réalisation illustré à la figure 6. L'empilement de cette figure 19 diffère de celui décrit la figure 6, en ce que chaque zone vide 70,80 est prolongée par un canal respectif 75,85. Chaque canal s'étend transversalement à partir de

35 la zone vide, au-delà de la ligne de découpe en regard DY_1 ou DY_2 . De la sorte, ce canal peut être traversé lorsqu'on réalise cette découpe.

Différentes possibilités peuvent être envisagées, en ce qui concerne la structure de ces canaux. De façon typique, les canaux anodiques 85 sont mutuellement superposés, tout comme les canaux cathodiques 75. Par ailleurs chaque canal anodique est situé typiquement dans le prolongement d'un canal cathodique, étant entendu qu'on peut prévoir un agencement décalé. Par ailleurs on peut prévoir de réaliser, pour une même zone vide, plusieurs canaux anodiques et/ou plusieurs canaux cathodiques. Selon la direction Z, on peut prévoir que chaque canal s'étend sur toute la hauteur de la zone vide. À titre de variante, ce canal peut s'étendre sur uniquement une partie de cette hauteur, soit en partie supérieure, soit en partie inférieure, soit encore en partie médiane.

10

La présence de ces canaux, à la fois anodiques et cathodiques, apporte des avantages spécifiques. En effet ces canaux permettent, en particulier, de favoriser l'imprégnation de l'électrolyte.

15 La figure 20 illustre la batterie finale 1000, une fois réalisée selon le procédé mis en œuvre grâce aux feuilles représentées de manière partielle sur la figure 19. Chaque batterie comporte des cavités anodiques 115 et cathodiques 145, s'étendant dans un corps secondaire 112 et 142 à partir d'un espace libre respectif 113 et 143. On notera que ces cavités, qui sont formées à partir des canaux ci-dessus, présentent cependant une longueur
20 moindre. En effet, comme cela a été mentionné, les canaux s'étendent au-delà de la ligne de découpe. En revanche les cavités 115 et 145 s'étendent uniquement jusqu'aux faces longitudinales opposées F4 et F6 de la batterie, qui sont délimitées par ces découpes.

La figure 21 montre une variante supplémentaire de réalisation, qui n'entre pas dans le cadre de la présente invention. Cette variante est fondée notamment sur l'enseignement de la demande de brevet internationale WO 2020 136313 au nom de la demanderesse, dans laquelle les zones vides présentent une forme globale de H. Selon l'enseignement de ce document chaque zone vide, telle que celle 570 ou 580 de la figure 21, comporte deux évidements principaux 571 ou 581 ainsi que 572 ou 582, qui sont mutuellement reliés par
25 un conduit de jonction 573 ou 583.

Selon la variante de la figure 21, on réalise des canaux 575 et 585, dont chacun prolonge un conduit respectif 573 et 583, en étant parallèle aux évidements principaux. Tout comme dans le mode de réalisation de la figure 19, chaque canal s'étend au-delà d'une ligne de
35 découpe respective DY1 et DY2. L'effet technique associé est à rapprocher de celui du

mode de réalisation des figures 19 à 20, à savoir que la présence du canal 575 ou 585 assure une meilleure imprégnation de l'électrolyte.

Le procédé selon l'invention est particulièrement adapté à la fabrication de batteries
5 entièrement solides, i.e. de batteries dont les électrodes et l'électrolyte sont solides et ne comprennent pas de phase liquide, même imprégnées dans la phase solide.

Le procédé selon l'invention est particulièrement adapté à la fabrication de batteries considérées comme quasi-solides comprenant au moins un séparateur 31 imprégné d'un électrolyte. Le séparateur est, de préférence, une couche inorganique poreuse présentant :

- 10
- une porosité, de préférence, une porosité mésoporeuse, supérieure à 30%, de préférence comprise entre 35% et 50%, et encore plus préférentiellement entre 40 % et 50 %,
 - des pores de diamètre moyen D_{50} inférieur à 50 nm.

L'épaisseur du séparateur est avantageusement inférieure à 20 μm , et préférentiellement
15 compris entre 5 μm et 10 μm , de manière à réduire l'épaisseur finale de la batterie sans amoindrir ses propriétés. Les pores du séparateur sont imprégnés par un électrolyte, de préférence, par une phase porteuse d'ions de lithium telle que des électrolytes liquides ou un liquide ionique contenant des sels de lithium. Le liquide « nanoconfiné » ou « nanopiégé » dans les porosités, et en particulier dans les mésoporosités, ne peut plus ressortir. Il est
20 lié par un phénomène appelé ici « d'absorption dans la structure mésoporeuse » (qui ne semble pas avoir été décrit dans la littérature dans le contexte des batteries à ions de lithium) et il ne peut plus sortir même lorsque la cellule est mise sous vide. La batterie est alors considérée comme quasi-solide.

25 La batterie selon l'invention peut être conçue et dimensionnée de manière à avoir :
- une capacité inférieure ou égale à environ 1 mA h (appelée couramment « microbatterie »),
- ou bien une capacité supérieure à environ 1 mA h.

30 De manière typique, les microbatteries sont conçues de manière à être compatibles avec les procédés de fabrication de la microélectronique.

Les batteries de chacune de ces gammes de puissance peuvent être réalisées :

- soit avec des couches de type « tout solide », i.e. dépourvues de phases liquides ou pâteuses imprégnées (lesdites phases liquides ou pâteuses pouvant être un milieu conducteur d'ions de lithium, capable d'agir comme électrolyte),
- 5 - soit avec des couches de type « tout solide » mésoporeuses, imprégnées par une phase liquide ou pâteuse, typiquement un milieu conducteur d'ions de lithium, qui entre spontanément à l'intérieur de la couche et qui ne ressort plus de cette couche, de sorte que cette couche puisse être considérée comme quasi-solide,
- soit avec des couches poreuses imprégnées (i.e. couches présentant un réseau de pores ouverts qui peuvent être imprégnés avec une phase liquide ou pâteuse, et qui
- 10 confère à ces couches des propriétés humides).