

PROCEDE DE FABRICATION DE BATTERIES, ET BATTERIE OBTENUE PAR CE PROCEDE

Domaine technique de l'invention

La présente invention se rapporte à la fabrication de batteries. Elle peut être appliquée
5 notamment aux batteries à ions de lithium. L'invention concerne un nouveau procédé de fabrication de batteries, et notamment de batteries à ions de lithium. Elle concerne également les batteries obtenues par ce procédé, qui présentent une architecture nouvelle qui leur confère une durée de vie améliorée.

Etat de la technique

- 10 Afin d'accroître le rendement de production des batteries rechargeables à forte densité d'énergie et forte densité de puissance, telles que des batteries entièrement solides ou des batteries imprégnées d'un électrolyte liquide, la fabrication simultanée de plusieurs batteries peut être réalisée à partir d'une superposition de feuilles alternées d'anode et de cathode préalablement revêtues d'une couche d'électrolyte.
- 15 WO 2016/001584 (I-TEN) décrit des feuilles comprenant un substrat conducteur recouvert successivement d'une couche d'électrode recouverte d'une couche d'électrolyte ; ces feuilles sont découpées, avant ou après dépôt, selon des motifs, notamment en forme de U. Ces feuilles sont empilées de manière alternée afin de constituer un empilement de plusieurs cellules élémentaires. Les motifs de découpes des anodes et cathodes sont
20 placés en configuration « tête bêche » de manière à ce que l'empilement des couches de cathode et d'anode soit décalé latéralement. Après l'étape d'empilement, il est connu de ce document de déposer un système d'encapsulation en couche épaisse d'une dizaine de microns et conformal, typiquement une couche polymérique, sur l'empilement et dans les cavités disponibles présentes au sein de l'empilement. Ceci permet d'assurer d'une part, la
25 rigidité de la structure au niveau des plans de coupe et d'autre part, la protection de la cellule de la batterie vis-à-vis de l'atmosphère. Une fois l'empilement réalisé et encapsulé dans une structure rigide, 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 connexions cathodique et anodique des batteries. Il se trouve que lors de ces découpes, le système
30 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) au niveau où ces connexions cathodique et anodique sont apparentes.

Cet état de la technique est expliqué ici en plus grand détail en référence à la figure 12 qui illustre une structure de batterie à ions de lithium décrite dans WO 2016/001584. La batterie **200** comprend plusieurs anodes **230** et plusieurs cathodes **210**, qui sont disposées les unes au-dessous des autres de façon alternée. Chaque anode et chaque cathode comprend une
5 couche d'un matériau actif respectif d'anode ou de cathode, appelée couche d'anode, respectivement couche de cathode. Par ailleurs, une couche d'un matériau d'électrolyte, non représentée sur la figure 12, est intercalée entre l'anode et la cathode, de sorte que ce matériau d'électrolyte sépare deux couches actives en regard. L'épaisseur des différentes couches qui les constituent ne dépasse normalement pas les 10 μm , et est souvent
10 comprise entre 1 μm et 4 μm . La batterie présente, sur un premier bord latéral **201**, des connexions anodiques **230'** situées les unes au-dessous des autres. Par ailleurs, sur le bord latéral opposé **202**, il est prévu des connexions cathodiques **210'** situées les unes au-dessous des autres. L'empilement des anodes **230** et des cathodes **210** est décalé latéralement. Les connexions cathodiques **210'** sont situées en saillie, par rapport à la face
15 libre **230''** de l'anode. De manière analogue, sur le bord opposé **201**, la face libre **210''** de la cathode est située en retrait par rapport à la face libre de l'anode sur laquelle sont déposées ultérieurement des connexions anodiques **230'**.

Cette solution connue présente cependant certains inconvénients. En effet, en fonction du positionnement des électrodes, notamment de la proximité des bords des électrodes pour
20 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. Il diminue la performance de la batterie, et ce, malgré l'utilisation d'un système d'encapsulation autour de la batterie et aux abords des connexions cathodiques et anodiques. Par ailleurs, on constate parfois un dépôt insatisfaisant du système
25 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.

Par ailleurs, étant donné que les terminaisons, respectivement d'anode et de cathode, sont situées en retrait des couches adjacentes, respectivement de cathode et d'anode, il est nécessaire de pratiquer une découpe de larges dimensions. Une telle découpe doit alors
30 être remplie au moyen d'un matériau isolant. Etant donné ses dimensions importantes, cette découpe conduit à une perte substantielle de matières utiles, pour la réalisation de la batterie proprement dite. Par ailleurs, elle impose de déposer de fortes épaisseurs d'isolant, dans les cavités disponibles présentes au sein de l'empilement. Un isolant épais risque de fragiliser l'ensemble du système d'encapsulation de la batterie, car lors de la découpe, le
35 système d'encapsulation déposé en couche épaisse a tendance à se délaminer.

L'architecture selon l'état de la technique présente donc à la fois des inconvénients techniques et économiques.

La présente invention vise à remédier au moins en partie à certains inconvénients de l'art antérieur évoqués ci-dessus.

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

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

- 10 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 tel procédé, qui utilise une étape de découpe de meilleure qualité que dans l'art antérieur.

- Elle vise également à proposer un tel procédé, qui permet d'améliorer les phases
15 d'encapsulation et l'encapsulation elle-même, intervenant lors de la réalisation de la batterie finale.

Elle vise également à proposer un procédé de fabrication des batteries qui engendre moins de perte de matières.

Objets de l'invention

- 20 Au moins un des objectifs ci-dessus est atteint par l'intermédiaire d'au moins l'un des objets selon l'invention tel que présenté ci-après. La présente invention propose comme premier objet une batterie comprenant au moins une anode et au moins une cathode, disposée l'une au-dessus de l'autre de manière alternée, ladite batterie comprenant des bords latéraux comprenant une zone de connexion anodique et une zone de connexion
25 cathodique, de préférence latéralement opposée à la zone de connexion anodique, et des bords longitudinaux, dans laquelle l'anode comprend

- un substrat collecteur de courant,
 - au moins une couche d'anode, et
 - éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur
30 imprégné d'un électrolyte,
- et la cathode comprend
- un substrat collecteur de courant,

- au moins une couche de cathode, et
- éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte,

5 de sorte que la batterie comprend successivement au moins une couche d'anode, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte et au moins une couche de cathode,

caractérisée en ce que chaque anode et chaque cathode comprend un corps principal respectif, et un corps secondaire respectif, lesdits corps principaux et corps secondaires étant séparés par un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de
10 substrat collecteur de courant, ledit espace libre reliant les bords longitudinaux opposés de la batterie, i.e. ledit espace libre s'étendant entre les bords longitudinaux opposés de la batterie.

La présente invention propose comme second objet une batterie comprenant au moins une anode et au moins une cathode, disposée l'une au-dessus de l'autre de manière alternée,
15 ladite batterie comprenant des bords latéraux comprenant une zone de connexion anodique et une zone de connexion cathodique, de préférence latéralement opposée à la zone de connexion anodique, et des bords longitudinaux, dans laquelle l'anode comprend

- un substrat collecteur de courant,
 - au moins une couche d'anode, et
 - 20 - éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte,
- et la cathode comprend
- un substrat collecteur de courant,
 - au moins une couche de cathode, et
 - 25 - éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte,

de sorte que la batterie comprend successivement au moins une couche d'anode, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte, et au moins une couche de cathode,

30 caractérisée en ce que chaque anode et chaque cathode comprend un corps principal respectif, séparé d'un corps secondaire respectif, par un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant, ledit

espace libre reliant les bords longitudinaux opposés de la batterie, i.e. ledit espace libre s'étendant entre les bords longitudinaux opposés de la batterie.

Avantageusement, la batterie comprend un système d'encapsulation revêtant totalement quatre des six faces de ladite batterie, les deux faces restantes comprenant une zone de connexion anodique et une zone de connexion cathodique.

Avantageusement, le système d'encapsulation comprend :

- au moins une première couche de recouvrement, de préférence choisie parmi le parylène, le parylène de type F, le polyimide, les résines epoxy, le silicone, le polyamide, la silice sol-gel, la silice organique et/ou un mélange de ceux-ci, déposée sur la batterie,
 - au moins une deuxième couche de recouvrement composée d'une matière électriquement isolante, déposée par dépôt de couches atomiques sur ladite au moins première couche de recouvrement,
- étant entendu que cette séquence d'au moins une première couche de recouvrement et d'au moins une deuxième couche de recouvrement peut être répétée z fois avec $z \geq 1$.

Avantageusement, la zone de connexion anodique et la zone de connexion cathodique sont recouvertes par un système de terminaison.

Avantageusement, le système de terminaison comprend successivement :

- une première couche d'un matériau chargé en graphite, de préférence à base de résine époxy chargée en graphite,
- une seconde couche dense de cuivre métallique disposée sur la première couche du système de terminaison, et
- optionnellement, une troisième couche à base d'un alliage étain-zinc d'étain, disposée sur la deuxième couche,
- optionnellement, une quatrième couche à base d'étain ou à base d'un alliage d'argent, de palladium et de cuivre, disposée sur la troisième couche du système de terminaison.

Avantageusement, la largeur de l'espace libre est comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm.

Avantageusement, la largeur des corps secondaires est comprise entre 0,05 mm et 2 mm.

Avantageusement, en vue de dessus, les espaces libres des cathodes sont superposés.

Avantageusement, en vue de dessus, les espaces libres des anodes sont superposés.

Avantageusement, en vue de dessus, les espaces libres des cathodes et des anodes ne sont pas confondus.

Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication d'une batterie, ladite batterie
5 comprenant au moins une anode et au moins une cathode, disposée l'une au-dessus de l'autre de manière alternée, ladite batterie comprenant des bords longitudinaux et des bords latéraux,

dans lequel l'anode comprend

- un substrat collecteur de courant,
- 10 - au moins une couche d'anode, et
- éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte,

et la cathode comprend

- un substrat collecteur de courant,
- 15 - au moins une couche de cathode, et
- éventuellement une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un électrolyte

de sorte que la batterie comprend successivement au moins une couche d'anode, au moins une couche d'un matériau d'électrolyte ou d'un séparateur imprégné d'un
20 électrolyte, et au moins une couche de cathode,

chaque anode comprenant une zone de connexion anodique, située au voisinage d'un premier bord latéral de la batterie, alors que chaque cathode comprend une zone de connexion cathodique, située sur un second bord latéral de la batterie, opposé audit premier bord,

25 ledit procédé de fabrication comprenant :

- a) l'approvisionnement d'un empilement de feuilles alternées, cet empilement comprenant des premières feuilles ou feuilles d'anode dont chacune est destinée à former une couche d'anode de plusieurs batteries, ainsi que des
30 deuxièmes feuilles ou feuilles de cathode dont chacune est destinée à former une couche de cathode de plusieurs batteries,

chaque feuille d'anode comprenant au moins une fente d'anode et chaque feuille de cathode comprenant au moins une fente de cathode, ladite fente respectivement d'anode et de cathode comprenant deux parties

longitudinales au moins en partie superposées, destinées à délimiter les bords longitudinaux de la batterie, ainsi qu'une partie latérale reliant lesdites deux parties longitudinales, i.e. partie latérale s'étendant entre les deux parties longitudinales de ladite fente, la partie latérale de la fente d'anode et la partie latérale de la fente de cathode étant mutuellement décalée, étant
5 entendu que chaque partie latérale des fentes délimite un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et de substrat collecteur de courant, ledit espace libre séparant, pour chaque anode et chaque cathode, un corps principal d'un corps secondaire, i.e. un corps principal par rapport à un corps
10 secondaire,

- b) la réalisation d'un traitement thermique et/ou d'une compression mécanique de l'empilement de feuilles alternées précédemment approvisionné,
- c) la réalisation de deux découpes s'étendant au moins partiellement à l'intérieur desdites fentes, la première découpe s'étendant entre la partie
15 latérale de la fente d'anode et l'extrémité en regard des parties longitudinales, alors que la seconde découpe s'étend entre la partie latérale de la fente de cathode et l'extrémité en regard des parties longitudinales.

Avantageusement, on réalise, après l'étape c), l'encapsulation de l'empilement découpé,
20 en déposant :

- au moins une première couche de recouvrement, de préférence choisie parmi le parylène; le parylène de type F, le polyimide, les résines epoxy; le silicone, le polyamide, la silice sol-gel, la silice organique et/ou un mélange de ceux-ci, sur la batterie, et puis
- 25 - au moins une deuxième couche de recouvrement composée d'une matière électriquement isolante, déposée par dépôt de couches atomiques sur ladite au moins première couche de recouvrement,

étant entendu que la séquence d'au moins une première couche de recouvrement et d'au moins une deuxième couche de recouvrement peut être répétée z fois avec
30 $z \geq 1$.

Avantageusement, on réalise, après l'étape d) d'encapsulation de l'empilement découpé, l'imprégnation de l'empilement découpé et encapsulé, par une phase porteuse d'ions de lithium telle que des électrolytes liquides ou un liquide ionique contenant des sels de lithium.

Avantageusement, on réalise, les terminaisons de la batterie en déposant successivement :

- une première couche d'un matériau chargé en graphite, de préférence à base de résine époxy chargée en graphite,
- 5 - une seconde couche dense de cuivre métallique disposée sur la première couche du système de terminaison, et
- optionnellement, une troisième couche à base d'un alliage étain-zinc d'étain, disposée sur la deuxième couche du système de terminaison,
- 10 - optionnellement, une quatrième couche à base d'étain ou à base d'un alliage d'argent, de palladium et de cuivre, disposée sur la troisième couche du système de terminaison.

Avantageusement, on réalise les deux découpes au travers d'au moins une majorité des anodes et des cathodes, en particulier au travers de l'ensemble des anodes et des cathodes.

- 15 Avantageusement, les distances entre chaque découpe et les extrémités en regard des parties longitudinales sont identiques. Avantageusement, ses distances sont comprises entre 0,05 mm et 2 mm.

- 20 Avantageusement, chaque fente présente une forme globale de H, les parties longitudinales formant les évidements principaux verticaux du H, alors que la partie latérale forme le canal du H.

Avantageusement, chaque partie latérale des fentes délimite un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant reliant ou s'étendant entre les bords longitudinaux opposés de la batterie, ledit espace libre séparant, pour chaque anode et chaque cathode, un corps principal d'un corps secondaire.

- 25 Avantageusement, la largeur de la partie latérale des fentes est comprise entre 0,05 mm et 2 mm.

Avantageusement, chaque feuille appartenant audit empilement comprend plusieurs lignes de fente disposées les unes à côté des autres. Avantageusement, on réalise les deux découpes à travers l'ensemble des fentes d'une même ligne.

- 30 Avantageusement, chaque feuille comprend plusieurs rangées de fentes disposées les unes au-dessous des autres.

Avantageusement, la distance séparant des découpes adjacentes, ménagées dans des lignes voisines, est comprise entre 0,05 mm et 5 mm.

Avantageusement, le nombre de lignes est compris entre 10 et 500, alors que le nombre de rangées est compris entre 10 et 500.

- 5 Avantageusement, on réalise chaque découpe par un procédé de sciage, par un procédé de découpe en dés, par guillotine, ou par laser.

Figures

Les figures annexées, données à titre d'exemples non limitatifs, représentent différents aspects et modes de réalisation de l'invention. [Fig. 12] représente une batterie selon l'état
10 de la technique.

[Fig. 1] est une vue en perspective des feuilles d'anode et de cathode destinées à former un empilement selon le procédé de fabrication de batteries conforme à l'invention.

[Fig. 2] est une vue de face, illustrant l'une des feuilles de la figure 1.

[Fig. 3] est une vue de face, à plus grande échelle, illustrant des fentes en forme de H
15 ménagées dans des feuilles adjacentes.

[Fig. 4] est une vue en perspective, également à grande échelle, illustrant ces fentes en forme de H ménagées dans des feuilles adjacentes.

[Fig. 5] est une vue de dessus, illustrant une étape de découpe réalisée sur différentes fentes ménagées dans l'empilement des figures précédentes.

20 [Fig. 6] est une vue de dessus, illustrant à plus grande échelle les découpes ménagées sur une fente en forme de H.

[Fig. 7] est une vue en coupe, selon la ligne VII-VII indiquée sur la figure 6.

[Fig. 8] est une vue en coupe, selon la ligne VIII-VIII indiquée sur la figure 6.

[Fig. 9] est une vue de dessus illustrant une batterie conforme à l'invention, qui est
25 susceptible d'être obtenue notamment selon le procédé des figures précédentes.

[Fig. 10] est une vue de face illustrant une batterie conforme à l'invention, qui est susceptible d'être obtenue notamment selon le procédé des figures précédentes.

[Fig. 11] est une vue en perspective, illustrant une batterie conforme à l'invention, qui est susceptible d'être obtenue notamment selon le procédé des figures précédentes.

[Fig. 12] est une vue en perspective illustrant une batterie selon l'art antérieur.

[Fig. 13] est vue de dessus, illustrant une étape de découpe réalisée sur différentes fentes en forme de H ménagées sur une feuille d'anode ou de cathode selon une deuxième variante de l'invention.

- 5 [Fig. 14] est une vue de dessus, illustrant à plus grande échelle les découpes ménagées sur des fentes en forme de H selon la deuxième variante de l'invention.

[Fig. 15] est une vue en perspective, illustrant une batterie conforme à l'invention, qui est susceptible d'être obtenu notamment selon la deuxième variante de l'invention.

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

- 10 [Table 1] : repères utilisés dans la présente demande

I	empilement de feuilles d'anode et de cathode		
1	feuille de cathode	XH / XH'	axe médian horizontal des fentes 14 et 34, respectivement des fentes 1014 et 1034
3	feuille d'anode	$D_1, D'_1, D_{2n}, D'_n, D_{C+1}, D'_{C+1}$	Découpe
10	zone centrale perforée de la feuille de cathode	100 / 1100	Batterie selon l'invention
12	cadre périphérique de la feuille de cathode	40 / 1040	chutes de matière
XX	direction longitudinale ou horizontale de l'empilement	41	chutes de matériaux de cathodes
YY	direction verticale ou transversale de l'empilement	43	chutes de matériaux d'anodes
L	ligne de fentes	X 100 Y 100	axes médians longitudinaux et transversaux de 100
R	rangée de fentes	101 / 102	bords latéraux de 100
20 / 1020	ponts de matière entre deux lignes	103 / 104	bords longitudinaux de 100
H ₂₀ / H ₁₀₂₀	hauteurs des ponts	110 / 1110	couches de cathode
22	bandes de matières entre deux rangées	130 / 1130	couches d'anode
L ₂₂	largeur des bandes	111, 131 / 1111, 1131	corps principal de 110, respectivement de 130 / corps principal de 1110, respectivement de 1130
14 / 1014	fentes en forme de H dans les feuilles de cathode	112, 132 / 1112, 1132	corps secondaire de 110, respectivement de 130 / corps secondaire de 1110, respectivement de 1130
16 / 1016	évidements principaux verticaux de 14	113 / 1113	espace libre entre 111 et 112, respectivement entre 1111 et 1112, de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant
18 / 1018	canal horizontal de 14	133 / 1133	espace libre entre 131 et 132, respectivement entre 1131 et 1132, de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant
H ₁₄	hauteur totale de la fente	L ₁₁₂ / L ₁₁₁₂	largeur de l'espace libre entre 111 et 112, respectivement entre 1111 et 1112
L ₁₄	largeur totale de la fente	L ₁₁₂ / L ₁₁₁₂	largeur du corps secondaire 112, respectivement 1112
L ₁₆	largeur de chaque évidement principal 16	111', 112', 131', 132'	faces libres respectivement de 111, 112, 131, 132

H ₁₈	hauteur de chaque canal 18	200	batteries de l'art antérieur voir figure 12
D ₁₈	distance entre le sommet de 16 et de 18	210 / 230	cathode / anode
34 / 1034	fentes en forme de H dans les feuilles d'anode, analogues aux fentes 14 / 1014	201 / 202	bords latéraux
36 / 1036	évidements principaux verticaux de 34	210' / 230'	faces libres de la cathode / de l'anode.
1101 / 1102	bords latéraux de 1100	210" / 230"	faces libres de la cathode / de l'anode situées en retrait
38 / 1038	canal horizontal de 34	D ₂₀	distance entre la découpe D _n et la face en regard du canal 18
2	Perforations présentes aux quatre extrémités des feuilles d'anode et de cathode	D ₄₀	distance entre la découpe D _n et la face en regard du canal 38
D ₁₀₂₀	distance entre la découpe D _n et la face en regard du canal 1018	D ₃₈	distance entre le sommet de 36 et de 38

Description de l'invention

- 5 Le procédé conforme à l'invention comprend tout d'abord une étape dans laquelle on réalise un empilement I de feuilles alternées, ces feuilles étant dénommées dans ce qui suit, selon le cas, « feuilles d'anode » et « feuilles de cathode ». Comme on le verra plus en détail, chaque feuille d'anode est destinée à former l'anode de plusieurs batteries, et chaque feuille de cathode est destinée à former la cathode de plusieurs batteries. Dans l'exemple illustré
- 10 sur la figure 1, on a représenté cinq feuilles de cathode **1**, ainsi que cinq feuilles d'anode **3**. En pratique, cet empilement est formé par un nombre plus élevé de feuilles, typiquement compris entre dix et mille. Dans un mode de réalisation avantageux, toutes ces feuilles présentent des perforations **2** à leurs quatre extrémités de manière à ce que lorsque ces perforations **2** sont superposées, toutes les cathodes et toutes les anodes de ces feuilles
- 15 sont agencées spécifiquement, comme ceci sera expliqué en plus grand détail ci-après (cf. figures 1 et 2). Ces perforations **2** aux quatre extrémités des feuilles peuvent être réalisées par tout moyen approprié, notamment sur des feuilles d'anode et de cathode après fabrication ou sur des feuilles d'anode et/ou de cathode revêtues d'une couche d'électrolyte ou revêtues d'un séparateur de manière à ce que cette couche d'électrolyte ou ce

séparateur soit intercalé(e) entre deux feuilles de polarité opposée, i.e. entre la feuille d'anode et la feuille de cathode.

La structure physico-chimique de chaque feuille d'anode ou de cathode, qui peut être de type connue, ne fait pas partie de l'invention et ne sera décrite que de manière succincte.

- 5 Chaque feuille d'anode, respectivement de cathode, comprend une couche active d'anode, respectivement une couche active de cathode. Chacune de ces couches actives peut être solide, i.e. de nature dense ou poreuse. Par ailleurs, afin d'éviter tout contact électrique entre deux feuilles adjacentes, une couche d'électrolyte ou un séparateur imprégné d'un électrolyte liquide est disposé sur au moins l'une de ces deux feuilles, au contact de la
- 10 feuille en regard. La couche d'électrolyte ou le séparateur imprégné d'un électrolyte liquide, non représenté sur les figures décrivant la présente invention, est intercalé entre deux feuilles de polarité opposée, i.e. entre la feuille d'anode et la feuille de cathode.

- On va maintenant décrire la structure mécanique de l'une des feuilles de cathode **1**, étant entendu que les autres feuilles de cathode présentent une structure identique. Par ailleurs,
- 15 comme on le verra dans ce qui suit, les feuilles d'anode **3** possèdent une structure très voisine de celle des feuilles de cathode **1**.

- Comme cela est visible sur la figure 2, la feuille de cathode **1** présente une forme de quadrilatère, sensiblement de type carré. Elle délimite une zone centrale **10** dite perforée, dans laquelle sont ménagées des fentes en forme de H qui vont être décrites ci-après. En
- 20 référence au positionnement de ces fentes en forme de H, on définit une direction dite verticale **YY** de la feuille, qui correspond à la direction verticale de ces H, ainsi qu'une direction dite horizontale **XX** de la feuille, perpendiculaire à la direction **YY**. La zone centrale **10** est bordée par un cadre périphérique **12** qui est plein, à savoir dépourvu de fentes. La fonction de ce cadre est notamment d'assurer une manipulation aisée de chaque feuille.

- 25 Les fentes en forme de H sont réparties selon des lignes **L₁** à **L_y**, disposées les unes au-dessous des autres, ainsi que selon des rangées **R₁** 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 composant montable en surface (ci-après CMS), les feuilles d'anode et de cathode employées peuvent être des plaques de 100 mm x 100 mm. De manière typique, le nombre
- 30 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, ses dimensions peuvent varier et le nombre de ligne et de rangées par feuilles d'anode et de cathode peut être adapté en conséquence. Les dimensions des feuilles d'anode et de cathode employées peuvent être modulées en fonction des besoins. Comme montré en figure 2, deux lignes

adjacentes sont séparées par des ponts de matière **20**, dont on note H_{20} la hauteur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Deux rangées adjacentes sont séparées par des bandes de matières, dont on note L_{22} la largeur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Ces ponts et bandes de matières des feuilles d'anode et de cathode leur confèrent
5 une rigidité mécanique suffisante pour qu'elles puissent être manipulées aisément.

Les fentes **14** sont traversantes, à savoir qu'elles débouchent sur les faces respectivement supérieures et inférieures de la feuille. Les fentes **14** peuvent être réalisées de manière connue en soi, directement sur le substrat, avant tout dépôt de matériaux d'anode ou de cathode par gravure chimique, par électroformage, par découpe laser, par microperforation
10 ou par étampage. Ces fentes peuvent aussi être réalisées sur des substrats revêtus de matériaux d'anode ou de cathode, sur des feuilles d'anode ou de cathode revêtues d'une couche d'électrolyte ou d'un séparateur, de manière connue en soi, par exemple par découpe laser, par découpe laser femtoseconde, par microperforation ou par étampage. Les fentes **14**, réalisées dans l'ensemble des cathodes, sont superposées comme le montre
15 notamment la figure 3.

On va maintenant décrire l'une des fentes **14** en forme de H, étant entendu que l'ensemble des découpes de la feuille de cathode est identique. La fente **14** est formée par deux évidements principaux verticaux et parallèles **16**, lesquels sont reliés dans leur partie supérieure par un canal horizontal **18**, de préférence perpendiculaire aux deux évidements
20 principaux verticaux **16**. On note :

- H_{14} la hauteur de l'ensemble de la fente, qui est typiquement comprise entre 0,25 mm et 10 mm ;
- L_{14} sa largeur, qui est typiquement comprise entre 0,25 mm et 10 mm ;
- L_{16} la largeur de chaque évidement principal, qui est typiquement comprise entre 0,02
25 mm et 5 mm ;
- H_{18} la hauteur de chaque canal, qui est typiquement comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm ;
- D_{18} la différence de hauteurs entre le sommet des évidements principaux et le sommet du canal, qui est typiquement comprise entre 0,05 mm et 2 mm.

Chaque anode est également pourvue de différentes lignes et rangées de fentes **34**,
30 prévues en même nombre que les fentes **14**. Comme le montre notamment la figure 4, la structure de chaque fente **34** est sensiblement analogue à celle de chaque fente **14**, à savoir que cette fente **34** comprend deux évidements principaux verticaux **36**, reliés par un canal **38**. Les dimensions des évidements principaux verticaux **36** sont identiques à celles

des évidements principaux verticaux **16** et, de manière analogue, les dimensions des canaux **38** sont analogues à celles des canaux **18**.

En vue de dessus, les évidements principaux verticaux **36** sont superposés avec ceux **16**. La seule différence, entre les fentes **14** et **34**, réside dans le fait que les canaux **38** sont prévus en partie inférieure. Comme le montre notamment la figure 3, les canaux **18** et **38** sont mutuellement symétriques en vue de dessus, par rapport à l'axe médian des H, lequel est noté **XH**.

On suppose que l'empilement, 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 thermopressage des différentes couches. Comme on va le voir ci-dessous, 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 5, 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 deux découpes D_n et D'_n par ligne de fentes. 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.

Comme le montre notamment la figure 6, qui est une vue à plus grande échelle de l'une des fentes de la figure 5, chaque découpe est réalisée entre un canal respectif et l'extrémité en regard du H. On suppose qu'on néglige l'épaisseur de ladite découpe. Dans ces conditions, en référence à cette figure 6, à titre d'exemples non limitatifs, on note :

- la distance D_{20} entre la découpe D_n et la face en regard du canal horizontal **18** est comprise entre 0,05 mm et 2 mm, étant entendu que cette distance D_{20} est inférieure ou égale à D_{18} ;
- la distance D_{40} entre la découpe D'_n et la face en regard du canal horizontal **38**, comprise entre 0,05 mm et 2 mm, étant entendu que cette distance D_{40} est inférieure ou égale à D_{38} .

En référence à nouveau à la figure 5, chaque batterie finale est délimitée, en haut et en bas, par les deux découpes et, à droite et à gauche, par les faces intérieures des évidements principaux verticaux du H. Sur cette figure 5 on a hachuré les batteries **100** une fois découpées par les lignes de découpe D_n et D'_n , on a illustré avec des points les zones

40 des feuilles de l'empilement, qui ne forment pas les batteries, alors que le volume des fentes est laissé en blanc.

Les figures 7 et 8 sont des vues en coupe, prises selon des lignes de coupe parallèle. La coupe **VII-VII** s'étend à travers les évidements principaux verticaux du H, alors que la coupe **VIII-VIII** traverse la matière. Sur la figure 7, on a référencé les zones **40**, illustrées également en figure 5, lesquelles correspondent à des chutes de matière, notamment des chutes de matériaux d'anodes **43** et de matériaux de cathodes **41**. Sur la figure 8 on note que les découpes sont réalisées à la fois au travers des anodes et des cathodes, à savoir à une distance D_{20} des canaux des fentes en forme de H de manière à avoir pour chaque cathode **1**, respectivement chaque anode **3** de la batterie **100** un corps principal **111**, respectivement **131**, séparé d'un corps secondaire **112**, respectivement **132**, par un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant **113**, respectivement **133**. Il s'agit là d'une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, 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 niveau des bords latéraux de la batterie.

La demande WO 2016/001584 décrit des empilements de plusieurs cellules élémentaires, constituées de feuilles d'anode et de cathode empilées de manière alternée et décalée latéralement (cf. figure 12), encapsulés dans un système d'encapsulation pour assurer la protection de la cellule de la batterie vis-à-vis de l'atmosphère. La découpe de ces empilements encapsulés permettant d'obtenir des batteries unitaires, avec des connexions anodique et cathodique à nu, est réalisée selon un plan de coupe traversant une succession alternée d'électrode et de système d'encapsulation. 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 court-circuits. Dans l'art antérieur, lors de l'encapsulation, la couche d'encapsulation remplit les interstices de l'empilement des feuilles portant des découpes en 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 lors de la découpe ultérieure.

Selon la présente invention, ce risque est supprimé avec l'emploi de feuilles portant des découpes en forme de H, car la structure mécanique thermopressée en forme de H est extrêmement rigide aux abords de la découpe, du fait de la superposition alternée de feuilles de cathode et d'anode. L'utilisation d'une telle structure rigide, avec l'emploi de feuilles portant des découpes en forme de H, permet de réduire le nombre de défauts lors

des découpes, d'accroître la vitesse de découpe et ainsi d'améliorer le rendement de production des batteries.

Selon l'invention, les découpes D'_n et D_n sont effectuées au travers des anodes et des cathodes 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.

En référence désormais aux figures 9 à 11, on a illustré l'une **100** des batteries conformes à l'invention. On note **X100** et **Y100** les axes médians respectivement longitudinal et latéral de cette batterie. On note **101** et **102** les bords latéraux, **103** et **104** les bords longitudinaux de cette batterie. On note par ailleurs **110** chaque cathode, et **130** chaque anode. Le nombre de ces cathodes, qui est identique au nombre de ces anodes, correspond au nombre de feuilles de cathode et de feuilles d'anode de l'empilement ci-dessus.

Comme le montre la figure 9, à savoir en vue de dessus, les espaces libres des cathodes sont superposés. De plus, selon cette même vue de dessus, les espaces libres des anodes sont superposés. Enfin, selon cette même vue de dessus, les espaces libres des cathodes et des anodes ne sont pas confondus. Cela est notamment représenté, à titre d'exemple, en figure 10.

L'espace libre (**113**) relie les bords longitudinaux opposés de la batterie qui sont représentés comme supérieur et inférieur sur la figure 9. Cet espace libre s'étend entre les bords longitudinaux opposés de la batterie séparant, pour chaque anode et chaque cathode, un corps principal d'un corps secondaire.

Chaque cathode **110** comprend un corps principal **111**, un corps secondaire **112** situé sur un premier bord latéral **101**, ainsi qu'un espace libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant **113**. Ce dernier, dont la largeur correspond à celle du canal **18** de la fente **14** décrite ci-dessus, s'étend entre les bords longitudinaux **103** et **104**. De manière analogue, chaque anode **130** comprend un corps principal **131**, ainsi qu'un corps secondaire **132** situé sur le bord latéral **102**, opposé à celui **101**. Le corps principal **131** et le corps secondaire **132** sont séparés par un espace libre **133** de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant, reliant les bords **103** et **104**, i.e. s'étendant entre les bords longitudinaux **103** et **104**. Les 2 espaces libres **113** et **133** sont mutuellement symétriques, par rapport à l'axe médian **Y100**.

La largeur L_{113} de chaque espace libre **113** correspond à la largeur du canal **18**, appartenant à la fente décrite dans les figures précédentes. Par ailleurs, la largeur L_{112} de chaque corps

secondaire **112** correspond à la distance D_{20} , telles que décrites en référence à la figure 6 ou à la figure 8.

La figure 13 illustre une variante supplémentaire de l'invention. Sur cette figure 13 les éléments mécaniques analogues à ceux des figures 1 à 11 illustrant le premier mode de réalisation, y sont affectés des mêmes numéros de référence augmentée du nombre 1000.

Cette seconde variante de réalisation diffère de la première variante essentiellement en ce que les fentes **1014** en forme de H 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. De la sorte au moins un des évidements principaux verticaux **1016** de la fente positionnée en rangée R_n est confondu avec au moins l'un des évidements principaux verticaux **1016** de la fente adjacente positionnée en rangée R_{n-1} et/ou R_{n+1} . Dans ce cas, les deux rangées adjacentes ne sont pas séparées par des bandes de matières. Comme montré en figure 13, deux lignes adjacentes sont séparées par des ponts de matière **1020**, dont on note H_{1020} la hauteur, laquelle est comprise entre 0,05 mm et 5 mm. Ces ponts de matière confèrent aux feuilles d'anode et de cathode une rigidité mécanique suffisante pour qu'elles puissent être manipulées aisément.

Dans cette seconde variante de l'invention, les fentes **1014** en forme de H peuvent être, de préférence, les mêmes que dans la première variante. La fente **1014** est, de préférence, formée par deux évidements principaux verticaux et parallèles **1016**, lesquels sont reliés dans leur partie supérieure par un canal horizontal **1018**, de préférence perpendiculaire aux deux évidements principaux verticaux **1016**.

Chaque cathode est pourvue de différentes lignes et rangées de fentes **1014**. Chaque anode est également pourvue de différentes lignes et rangées de fentes **1034**, prévues en même nombre que les fentes **1014**.

La structure de chaque fente **1034** est sensiblement analogue à celle de chaque fente **1014**, à savoir que cette fente **1034** comprend deux évidements principaux verticaux **1036**, reliés par un canal **1038**. Les dimensions des évidements principaux verticaux **1036** sont identiques à celles des évidements principaux verticaux **1016** et, de manière analogue, les dimensions des canaux **1038** sont analogues à celles des canaux **1018**.

En vue de dessus, les évidements principaux verticaux **1036** sont superposés avec les évidements principaux verticaux **1016**. La seule différence, entre les fentes **1014** et **1034**, réside dans le fait que les canaux **1038** sont prévus en partie inférieure. Comme le montre

notamment la figure 14, les canaux **1018** et **1038** sont mutuellement symétriques en vue de dessus, par rapport à l'axe médian des H, lequel est noté **XH'**.

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
5 connu en soi, incluent notamment le thermopressage des différentes couches. Comme on va le voir ci-dessous, 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 14, 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 deux découpes D_n et D'_n par
10 ligne de fentes. 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.

Chaque découpe est réalisée entre un canal respectif et l'extrémité en regard du H. On
15 suppose qu'on néglige l'épaisseur de ladite découpe. Les découpes sont réalisées à la fois au travers des anodes et des cathodes, à savoir à une distance D_{1020} des canaux des fentes en forme de H de manière à avoir pour chaque cathode **1110**, respectivement chaque anode **1130** de la batterie **1100**, un corps principal **1111**, respectivement **1131**, séparé d'un corps secondaire **1112**, respectivement **1132**, par un espace libre de tout matériau
20 d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant **1113**, respectivement **1133**, comme cela est illustré en figure 15. Il s'agit là d'une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, 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 niveau des bords latéraux de la batterie. Chaque batterie finale **1100** est délimitée, en haut et en bas, par les deux
25 découpes et, à droite et à gauche, par les faces intérieures des évidements principaux verticaux du H. Sur la figure 13 on a hachuré les batteries **1100** une fois découpées par les lignes de découpe D_n et D'_n , on a illustré avec des points les zones **1040** des feuilles de l'empilement, qui ne forment pas les batteries, alors que le volume des fentes est laissé en blanc.

30 Selon l'invention, les découpes D'_n et D_n sont effectuées au travers des anodes et des cathodes de densité comparable induisant une découpe propre de grande 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 15, chaque cathode **1110** comprend un corps principal **1111**, un corps secondaire **1112** situé sur un premier bord latéral **1101**, ainsi qu'un espace **1113** libre de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant. Ce dernier, dont la largeur correspond à celle du canal **1018** de la fente **1014** décrite ci-dessus, s'étend entre les bords longitudinaux. De manière analogue, chaque anode **1130** comprend un corps principal **1131**, ainsi qu'un corps secondaire **1132** situé sur le bord latéral **1102**, opposé à celui **1101**. Le corps principal **1131** et le corps secondaire **1132** sont séparés par un espace libre **1133** de tout matériau d'électrode, d'électrolyte et/ou de substrat collecteur de courant, reliant les bords longitudinaux, i.e. s'étendant entre les bords longitudinaux **1103** et **1104**. Les 2 espaces libres **1113** et **1133** sont mutuellement symétriques, par rapport à l'axe médian **Y100**.

La largeur L_{1113} de chaque espace libre **1113** correspond à la largeur du canal **1018**, appartenant à la fente décrite dans les figures précédentes. Par ailleurs, la largeur L_{1112} de chaque corps secondaire **1112** correspond à la distance D_{1020} , telles que décrites précédemment.

La batterie **1100** obtenue selon la deuxième variante de l'invention est en tout point identique à celle obtenue selon la première variante de l'invention quand bien même l'agencement des fentes **1014** est différent.

Dans une troisième variante de l'invention qui n'est pas représentée sur les figures, les fentes **14** / **1014** en forme de H peuvent être 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. De la sorte, sur une même feuille d'anode et/ou de cathode, les fentes **14** / **1014** en forme de H sont disposées selon la première et la seconde variante de l'invention, sur les feuilles d'anode et/ou de cathode, de manière à conserver une rigidité mécanique suffisante pour que ces feuilles puissent être manipulées aisément et à ce que l'empilement puisse définir avantageusement un maximum de batteries unitaires.

La batterie **1100** obtenue selon la troisième variante de l'invention est en tout point identique à celle obtenue selon les première et/ou deuxième variantes selon l'invention quand bien même l'agencement des fentes **14** / **1014** sur les feuilles d'anode et/ou de cathode est différent.

La comparaison entre les figures 11 et 12 permet de mettre en exergue des avantages de l'invention. En effet, sensiblement tout le volume global de la batterie est occupé par de la matière utile, i.e. qui contribue au fonctionnement électrochimique de la batterie **100**. En effet, seuls les deux espaces libres **133** / **1133**, de très faible dimension, ne peuvent être

considérés comme de la matière utile. À cet égard, en référence à la figure 10, on note que les faces libres **112'** des corps secondaires de cathode affleurent les faces libres **131'** du corps principal des anodes, alors que les faces libres **132'** des corps secondaires d'anode affleurent les faces libres **111'** du corps principal des cathodes. En d'autres termes, les bords latéraux opposés de la batterie conforme à l'invention, comprenant des matériaux d'électrode, sont sensiblement continus, par comparaison avec ceux de l'art antérieur illustré en figure 12, lesquelles sont discontinus du fait de la présence des retraits.

La « face libre du corps secondaire » correspond à la face appartenant au corps secondaire qui est opposée au corps principal.

- 10 La « face libre du corps principal » correspond à la face appartenant au corps principal qui est opposée au corps secondaire.

En outre, la présence d'espaces libres sur chaque couche d'anode, respectivement de cathode de la batterie permet de s'affranchir de l'utilisation de tout système d'encapsulation, i.e. de tout matériau isolant, tel que du parylène au sein de la batterie, ces espaces libres jouant le rôle d'isolant électrique. Les étapes finales de fabrication de batteries, telles que l'encapsulation, en sont facilitées. Il n'est plus nécessaire, comme dans l'art antérieur et illustré en figure 12, d'isoler les régions en retrait **210''**, **230''** au sein de la batterie, i.e. de remplir les interstices de la structure de l'art antérieur avec un système d'encapsulation, de remplir l'espace présent dans les découpes en forme de U positionnées façon tête bêche et décalés par un système d'encapsulation pour éviter tout court-circuit. L'utilisation d'une structure rigide selon l'invention, avec l'emploi de feuilles portant des découpes en forme de H, permet de faciliter l'encapsulation et de réduire les épaisseurs d'encapsulation au regard de l'art antérieur. Des systèmes d'encapsulation de type multicouche avec des couches plus fines et plus rigides que celles de l'art antérieur peuvent être envisagés.

- 25 Avantageusement, après l'étape d'empilement des feuilles d'anode et de cathode, le traitement thermique de ce dernier permettant l'assemblage de la batterie est réalisé à une température comprise entre 50°C et 500°C, de préférence à une température inférieure à 350 °C, et/ou la compression mécanique de l'empilement des feuilles d'anode et de cathode à assembler est réalisée à une pression comprise entre 10 et 100 MPa, de préférence entre 20 et 50 MPa. Dans un mode de réalisation particulier, il est avantageux, après l'étape d'empilement et de traitement thermique de ce dernier, d'encapsuler l'empilement en déposant un système d'encapsulation pour assurer la protection de la cellule de la batterie vis-à-vis de l'atmosphère. Le système d'encapsulation doit être stable chimiquement, résister à une température élevée et être imperméable à l'atmosphère pour jouer sa fonction de couche barrière. Avantageusement, l'empilement de feuilles d'anode et de feuilles de
- 35

cathode selon l'invention, peut être recouvert d'une séquence, de préférence de z séquences, d'un système d'encapsulation comprenant :

- une première couche de recouvrement, de préférence choisi parmi le parylène, le parylène de type F, le polyimide, les résines epoxy, le silicone, le polyamide et/ou un mélange de ceux-ci, déposée sur l'empilement de feuilles d'anode et de cathode,
- une deuxième couche de recouvrement composée d'une matière électriquement isolante, déposée par dépôt de couches atomiques sur ladite première couche de recouvrement.

Cette séquence peut être répétée z fois avec $z \geq 1$. Cette séquence multicouche a un effet barrière. Plus la séquence du système d'encapsulation sera répétée, plus cet effet barrière sera important. Il sera d'autant plus important que le nombre de couches minces déposées sera important.

Typiquement, la première couche de recouvrement est en polymère, par exemple en silicone (déposé par exemple par imprégnation ou par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma à partir d'hexaméthylidisiloxane (HMDSO)), ou en résine epoxy, ou en polyimide, en polyamide, ou en poly-para-xylylène (plus connu sous le terme parylène). Cette première couche de recouvrement 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 .

Avantageusement, la première couche de recouvrement 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 un mélange de parylène de type C, D, N et/ou F. Le parylène (appelé aussi polyparaxylylène ou poly(p-xylylène)) 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 permettant de protéger la batterie de son environnement externe. La protection de la batterie est accrue lorsque cette première couche de recouvrement est réalisée à partir de 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) sur les surfaces, 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 est composée d'une matière électriquement isolante, de préférence inorganique. Cette deuxième couche de recouvrement présente, avantageusement, un très faible coefficient WVTR, de préférence inférieur à 10^{-5} g/m².d. Elle est, de préférence, déposée par dépôt de couches atomiques (ALD), de manière à
5 obtenir un recouvrement conforme de l'ensemble des surfaces accessibles de l'empilement préalablement recouvert de la première couche de recouvrement. Les couches déposées 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.
10 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 chimiques différentes aura une croissance inhomogène, pouvant engendrer une perte d'intégrité de cette couche de protection.

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. Le coefficient WVTR (water vapor transmission rate) permet d'évaluer la perméance à la vapeur d'eau du système
20 d'encapsulation. Plus le coefficient WVTR est faible plus le système d'encapsulation est étanche.

La deuxième couche de recouvrement peut avantageusement être déposée par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (ou PECVD, pour Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition en anglais) ou par dépôt chimique en phase vapeur de type
25 HDPCVD (High Density Plasma Chemical Vapor Deposition en anglais) ou de type ICP CVD (Inductively Coupled Plasma Chemical Vapour Deposition en anglais).

Cette deuxième couche de recouvrement présente, de préférence, une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μ m, préférentiellement, une épaisseur comprise entre 10 nm et 50 nm. L'épaisseur de cette deuxième couche est avantageusement choisie en fonction du niveau
30 d'étanchéité aux gaz souhaité, i.e du coefficient WVTR souhaité et dépend de la technique de dépôt utilisée, notamment parmi l'ALD, le PECVD, HDPCVD et le ICPCVD.

La deuxième couche de recouvrement peut être en matériau céramique, en matériau vitreux ou en matériau vitrocéramique, par exemple sous forme d'oxyde, de type Al₂O₃, de

Ta₂O₅, de silice, de nitrure, notamment de nitrure de silicium, de phosphates, d'oxynitrure, ou de siloxane.

- Cette deuxième couche de recouvrement déposée par ALD, PECVD, HDPCVD ou ICP CVD 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 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 la durée de vie de la batterie encapsulée.
- 10 De manière alternative, le système d'encapsulation, permettant d'assurer la protection de la cellule de la batterie, ou de l'empilement de feuilles d'anode et de feuilles de cathode selon l'invention, vis-à-vis de l'atmosphère peut être constitué d'une séquence, de préférence de z' séquences, comprenant une première couche de recouvrement alternative présentant un très faible coefficient WVTR, de préférence inférieur à 10⁻⁵ g/m².d. Cette
- 15 séquence peut être répétée z' fois avec z ≥ 1. Elle présente un effet barrière, qui est d'autant plus important que la valeur de z' est élevée. L'encapsulation de l'empilement de feuilles d'anode et de cathode dans cette séquence du système d'encapsulation, de préférence dans z' séquences permet de réduire au maximum le coefficient WVTR de l'encapsulation, i.e. d'accroître l'étanchéité de l'empilement.
- 20 L'épaisseur de ladite première couche de recouvrement alternative est, de préférence, comprise entre 0.5 µm et 50 µm.

Cette couche de recouvrement alternative peut être 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. Le matériau céramique et/ou verre employé dans cette couche est,

25 avantageusement choisi parmi :

- un verre à bas point de fusion (typiquement < 600°C), de préférence SiO₂-B₂O₃ ; Bi₂O₃-B₂O₃, ZnO-Bi₂O₃-B₂O₃, TeO₂-V₂O₅, PbO-SiO₂,
 - des oxydes, des nitrures, des oxynitrures, du Si_xN_y, SiO₂, SiON du Silicium amorphe ou
- 30 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.

Avantageusement, le système d'encapsulation alternatif peut comprendre z' couches de recouvrement alternatif de nature différente afin de réduire le coefficient WVTR de l'encapsulation, i.e. d'accroître l'étanchéité de l'empilement. A titre d'exemple, le système d'encapsulation peut comprendre une première couche composée d'un matériau céramique, une deuxième couche composée d'un verre à bas point de fusion disposée sur la première couche, et inversement.

10 L'encapsulation dans un film de verre peut être obtenu par dépôt d'une encre comprenant des oxydes, des phosphates, des borates et ou des précurseurs d'un verre à bas point de fusion, suivi d'un frittage.

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 terminaisons.

La mesure de la perméance à la vapeur d'eau peut se faire 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. Mortier et al., parue dans la revue Thin Solid Films 6+550 (2014) 85-89.

20 L'empilement de feuilles d'anode et de cathode ainsi encapsulé dans cette séquence du système d'encapsulation, de préférence dans z séquences, ou dans le système d'encapsulation alternatif, peut ensuite être revêtu d'une dernière couche de recouvrement de manière à protéger mécaniquement l'empilement ainsi encapsulé et éventuellement lui conférer un aspect esthétique. Cette dernière couche de recouvrement protège et améliore la durée de vie de la batterie. Avantageusement cette dernière couche de recouvrement est également choisie pour résister à une température élevée, et présente une résistance mécanique suffisante pour protéger la batterie lors de son utilisation ultérieure. Avantageusement, l'épaisseur de cette dernière couche de recouvrement est comprise entre 1 μm et 50 μm . Idéalement, l'épaisseur de cette dernière couche de recouvrement est d'environ 10-15 μm , une telle gamme d'épaisseur permet de protéger la batterie contre l'endommagement mécanique.

Cette dernière couche de recouvrement est de préférence à base de résine époxy, de polyéthylène naphtalate (PEN), de polyimide, de polyamide, de polyuréthane, de silicone,

de silice sol-gel ou de silice organique. Avantageusement, cette dernière couche de recouvrement est déposée par trempage.

L'empilement de feuilles d'anode et de cathode ainsi enrobée est ensuite découpée par tout moyen approprié selon les lignes de coupes D'_n et D_n de manière à mettre à nu les
5 connexions anodiques et cathodiques et à obtenir des batteries unitaires.

Dans le cas des batteries imprégnées par un électrolyte liquide, l'imprégnation de la batterie par un électrolyte liquide est avantageusement réalisée, après obtention des batteries unitaires dont les connexions anodique et cathodique sont à nu, par une phase porteuse d'ions de lithium telle que des électrolytes liquides ou un liquide ionique contenant des sels
10 de lithium ; cette phase porteuse d'ions de lithium pénètre dans la batterie par capillarité.

Des terminaisons (contacts électriques) sont ajoutées au niveau où les connexions cathodiques, respectivement anodiques sont apparentes (non revêtues d'électrolyte isolant). 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) ou sur
15 des côtés adjacents. Les connexions sont métallisées à l'aide de techniques connues de l'homme du métier, de préférence par immersion dans une résine époxy conductrice et / ou un bain d'étain en fusion. De préférence, les terminaisons sont constituées, aux abords des connexions cathodique et anodique, d'un premier empilement de couches comprenant successivement une première couche d'un matériau chargé en graphite, de préférence en
20 résine époxy chargée de graphite, et une deuxième couche comprenant du cuivre métallique obtenue à partir d'une encre chargée en nanoparticules de cuivre déposée sur la première couche. Ce premier empilement des terminaisons est ensuite fritté par lampe flash infra-rouge de manière à obtenir un recouvrement des connexions cathodique et anodique par une couche de cuivre métallique.

25 En fonction de l'utilisation finale de la batterie, les terminaisons peuvent comprendre, de manière additionnelle, un deuxième empilement de couches disposé sur le premier empilement des terminaisons comprenant successivement une première couche d'un alliage étain-zinc déposé, de préférence par trempage dans un bain d'étain-zinc en fusion, afin d'assurer l'étanchéité de la batterie à moindre coût et une deuxième couche à base
30 d'étain pur déposée par électrodéposition ou une deuxième couche comprenant un alliage à base d'argent, de palladium et de cuivre déposée sur cette première couche du deuxième empilement.

Les terminaisons permettent de reprendre les connexions électriques alternativement positives et négatives sur chacune des extrémités. Ces terminaisons permettent de réaliser

les connexions électriques en parallèle entre les différents éléments de batterie. Pour cela, seules les connexions cathodiques sortent sur une extrémité, et les connexions anodiques sont disponibles sur une autre extrémité.

- 5 La batterie selon l'invention peut être une microbatterie aux ions de lithium, une minibatterie aux ions de lithium, ou encore une batterie à ions de lithium de forte puissance. En particulier, elle peut conçue et dimensionnée de manière à avoir une capacité inférieure ou égale à environ 1 mA h (appelée couramment « microbatterie »), de manière à avoir une puissance supérieure à environ 1 mA h jusqu'à environ 1 A h (appelée couramment
- 10 « minibatterie »), ou encore de manière à avoir une capacité supérieure à environ 1 A h (appelée couramment « batterie de puissance »). 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 trois gammes de puissance peuvent être réalisées :

- 15 - 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),
- soit avec des couches de type « tout solide » mésoporeuses, imprégnées par une phase liquide ou pâteuse, typiquement un milieu conducteur d'ions de
- 20 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,
- 25 et qui confère à ces couches des propriétés humides).